أساسيات في علم الوراثة

تأليف

عائدة وصفى عبد الهادى





تأليف

عائدة وصفى عبد الهادى

الطبعة الاولى

١٤٠٦ هـ/١٩٨٥ م

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمؤلف

طبع بمطبعة الألوان الحديثة بالوطية ت : ٥٦٢٢٧٦

بسم الله الرحمن الرحيم

الاهـــداء

إلى من كان لي عـــونا في الحيـــاة ،

إلى زوجي أهـــدي هـــذا الكتـــاب ..

المؤلف

عائدة وصفي عبد الهادي

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمـــــة

قال تعالى :

﴿ لَقَدْ خَلَقْنَا ٱلْإِنسَـٰنَ فِىٓ أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ ﴾[1]

صدق الله العظيم

وبذلك يكون الانسان أحسن مخلوقات الله تقويما ، وهيأ الخالق للإنسان ما يكفل له البقاء والاستمرار إلى أن يرث الله الأرض ومن عليها .

وقد أوجد الله سبحانه وتعالى في بني البشر صفات يتوارثها الأبناء عن الآباء والأجداد ، ولكن كيف تتنقل هذه الصفات الوراثية من جيل إلى آخر ؟

وللإجابة عن هذا السؤال لابد من التعرف على العلْم الذي يمكنه الاجابة عن هذا السؤال وغيره من الأسئلة التي ترد في ذهن الانسان ، وعلم الوراثة هو الذي يجيب عن هذه الأسئلة كما أنه يعتبر من أهم فروع علم الاحياء ، ومن العلوم الحديثة التي لها أثر كبير في حياة الانسان .

ويتناول هذا الكتاب المبادئ الأساسية في علم الوراثة بما يمكن معه تحقيق الفائدة لطالب العلم في مختلف كليات ومعاهد العلوم ، فضلًا عن الفائدة التي يحققها كل راغب في العلم والمعرفة .

وفي نهاية الكتاب قائمة بأهم المصطلحات العلمية التي يسهل الرجوع إليها عند الحاجة .

---

(١) سورة التين : الآية ٤

ويشتمل الكتاب على أربعة فصول :

الفصل الأول : الصفات المندلية وغير المندلية .

ويحتوي هذا الفصل على : تعريف علم الوراثة واختصاصاته ، والصفات التي تخضع لقانوني مندل والصفات غير المندلية ، كما يوضح أهمية الكروموسومات في نقل الصفات الوراثية .

الفصل الثاني : الوراثة الجزيئية .

ويتضمن هذا الفصل الشروط الواجب توافرها في المادة الوراثية . ويوضح التركيب الكيميائي للحامض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين والحامض النووي الرايبوزي .

ويبين هذا الفصل كيفية بناء البروتين والشيفرة الوراثية .

الفصل الثالث : الوراثة والجنس .

يشرح هذا الفصل الأنماط المختلفة التي تحدد الجنس مع ذكر بعض الأمثلة . ويبين أثر البيئة في تحديد الجنس ، كما يوضح هذا الفصل وراثة بعض الصفات وعلاقتها بالجنس .

الفصل الرابع : الوراثة في الانسان .

يحتوي هذا الفصل على الصفات الوراثية في الانسان ، وفصائل الدم في الانسان وتوارث هذه الفصائل .

وأرجو أن أكون قد وفقت بهذا الجهد المتواضع مستعينة بالله إلى ما سعيت في تحقيقه من فائدة لكل طالب علم عند إصدار هذا الكتاب .

والله ولي التوفيـق ،،

المؤلـف

محتويات الكتـــاب

الموضـــوع	الصفحة

الموضـــوع | الصفحة

الموضـــوع	الصفحة

الفصـــــل الأول

الوراثـة : الصفات المندلية وغير المندلية

Genetics : Mendelian & non - Mendelian Characters

﴿ سُبْحَانَ ٱلَّذِى خَلَقَ ٱلْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ ٱلْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ ﴾[1]

صدق الله العظيم

(١) سورة يٰس : الآية ٣٦

تمتاز الكائنات الحيـة بخاصية التكاثر حتى تؤمن للجنس الاستمرار عبر الأجيال وعلى مر الزمان . ويتم التكاثر الجنسي في معظم حالاته باتحاد جاميت ذكري مع جاميت أنثوي لتكوين الزيجوت ، ويتعرض الزيجوت لسلسلة من الانقسامات غير المباشرة والتمايز لتكوين فرد جديد .

ومن المعروف أن كل فرد يعطى فردا آخر من نفس نوعه ، مثلا القطط لها صغار من جنسها ، وللكلاب أيضا جراء من نفس جنسها . ونبات القمح يعطي قمحا ونبات الذرة يعطي ذرة إلى غير ذلك من الأمثلة العديدة . وبذلك تميزت الكائنات الحية بقدرتها على نقل الصفات من الآباء إلى الأبناء لتنتج نفس النوع من الاختلاف أو التشابه بين الأبناء والآباء .

فما هي الآلية المسؤولة عن هذا التشابه بين أفراد النوع الواحد مع وجود اختلافات ظاهرية بين أفراده ؟ وكيف تنتقل هذه الصفات من جيل إلى آخر ؟

إن علم الوراثة يهتم بالاجابة على مثل هذه الأسئلة وغيرها . ولم تتضح معالم علم الوراثة ولم تظهر أسسه وقوانينه إلا في مطلع هذا القرن . ويتناول هذا العلم دراسة ظواهر وراثة الصفات والتباين بين أفراد النوع الواحد وتوضيح القوانين التي توجه هذه الاختلافات والتشابهات بين الأفراد . وعلم الوراثة أساس من أسس الحضارة الحديثة التي هي الحضارة العلمية .
والجدير بالذكر أن الأسس الوراثية وآلية التوريث هي واحدة تقريبا في جميع الكائنات الحية بما فيها الانسان .

تعريف علم الوراثة :

يعرف علم الوراثة (Genetics) بأنه ذلك العلم الذي يبحث في انتقال الصفات من جيل إلى آخر وتفسير الظواهر المتعلقة بطريقة هذا الانتقال .

ويهتم علم الوراثة بإيجاد الحلول للمسائل الأساسية الثلاث وهي :

أ) ماهو الأساس الكيميائي لمادة الوراثة التي تنتقل من الآباء إلى الأبناء؟

ب) كيف تنتقل هذه المادة الوراثية من الآباء إلى الأبناء ؟

جـ) ما هي الطريقة التي بواسطتها تتمكن مادة الوراثة من تحقيق الصفات والمميزات الموروثة لدى الأبناء ؟

ولو أخذنا بعين الاعتبار درجة تعقيد الكائن الحي لأمكننا تمييز المستويات الثلاثة التالية :

١ ــ مستوى الخلايا والجزيئات :

يهتم علم الوراثة في هذا المستوى بدراسة البنية والتركيب الكيميائي لمادة الوراثة .

٢ ــ مستوى الأفراد :

فقد كانت أولى الأبحاث في ميدان علم الوراثة ، تقع في مستوى الأفراد ، وتتركز على تزاوج الذكور والإناث ، والتحليل المباشر لنتيجة هذا التزاوج بالنسبة لتوزيع ونسب بروز صفات وخصائص الآباء عند الأبناء .

٣ ــ مستوى المجموعات الحية :

يهتم علم وراثة المجموعات بدراسة انتقال وتوزيع المميزات والخصائص الوراثية داخل مجموعة حيوانية أو نباتية .

اختصاصات علم الوراثة :

إن نظرة فاحصة لتطبيق علم الوراثة في المجالات المختلفة ، توضح الاختصاصات التالية :

١ ــ علم الوراثة الإنسـاني :

يهتم هذا العلم بدراسة انتقال الصفات الوراثية عند الانسان ، وذلك بالرغم من الصعوبات الكثيرة التي تحول دون القيـام بالتجـارب على الانسان ، وذلك لأسباب مختلفة ، أخلاقية واجتماعية وحيوية .

ويقسم هـذا العلم إلى قسمين :

أ) **الوراثة الانسانية الوقائية** (Eugenics)

وتتركز حول دراسة إمكانية تجنيب الانسان خطر إنجاب أطفـال غـير مؤهلين للحياة بشكل سليم وصحيح ، وذلك لاحتمال إصـابتهم بأمراض وراثية تنتقل إليهم من الآباء .

ب) **الوراثة الانسانية العلاجية** (Medical genetics)

يهتم هذا القسم بدراسة وتحليل الأمراض الوراثية وطرق معالجتها . وهذه الأمراض كثيرة منها : مرض نزف الدم ، وعمى الألوان ، وقصر النظـر . كما يهتم هذا القسم بدراسة ظاهرة بروز المقاومة لدى الجراثيم مثل المضادات الحيوية وأثر ذلك في إعـداد الدواء من جهـة أو في وصف العلاج من جهة ثانية .

٢ ــ علم الوراثة الحيـواني :

يهتم هذا العلم بدراسة مميزات وخصائص الحيوانات وخصوصا ما يتعلق بزيادة فعاليتها الاقتصادية ، مثل زيادة إنتاج اللحم والحليب عند الأبقار وزيادة إنتاج البيض واللحم عند الدجاج ، وسرعة الجري عند الخيول . والعمل على تأصيل هذه الصفات ونشرها .

ويهتم هذا العلم أيضا بدراسة ظاهرة مقاومة الحشرات الضارة للمبيدات واعتماد أفضل الطرق لإبادة هذه الحشرات ، مثل إنتاج مبيدات جديدة ، أو اعتماد وسائل حيوية لمقاومة هذه الحشرات وذلك باستخدام مضاداتها الحيوية .

٣ ــ علم الوراثة النبــاتي :

يهتم هذا العلم بشكل أساسي بدراسة صفات وخصائص النباتات المزروعة والعمل على تحسينها وتأصيل بذورها وانتشارها . فيقوم مثلا بجمع خصائص جيدة لنباتين أو أكثر على جنس واحد مهجن يمتاز بوفرة إنتاجه ومقاومة الآفات في نفس الوقت .

جريجور منـدل وتجاربه :

كان جريجور مندل مدرسا لمادتي الفيزياء والأحيـاء في مدرسة برون الثانوية في تشيكوسلوفاكيا في الفترة ما بين ١٨٥٤ ــ ١٨٦٨م . وخلال هذه الفترة وفي أوقات فراغه كان مندل يزرع نبات البازيلاء في حديقة الدير الذي يعيش فيـه .

قام مندل خلال فترة تجاربه بتربية ودراسة حوالي عشرة آلاف نبتـة .

ولقد اختار مندل نبات البازيلاء لإجراء تجاربه على الوراثة وذلك للأسباب التاليـة :

١ ــ الزهرة لها القدرة على التلقيح الذاتي إذ أن كل من الطلع والمتاع محاط بشكل محكم بالبتلات مما يمنع التلقيح الخلطي .

٢ ــ سهولة تلقيح هذه الأزهار باليد بواسطة فرشاة خاصة .

٣ ــ يحتوي النبات على عدة أزواج من الصفات المتضادة كل زوج منها خاص بعضو معين ومن أمثلة هذه الأزواج المتضادة من الصفات هي

طول الساق وقصره ، والأزهار البيضاء والملونة ، البذور ذات القشرة الملساء والمجعدة .

٤ ـ سهل الزراعة ودورة حياته قصيرة .

تجارب مندل واكتشافاته :

كانت الطريقة العلمية في البحث والتجريب والاستنتاج هى ما سار عليه مندل في إجراء تجاربه .

وقد أجرى تجاربه على سبعة أزواج من الصفات الثابتة من جيل إلى جيل لهذه النبته . وهذه الصفات هي :

	الصفة السائدة	الصفة المتنحية
البذور	١ ـ مستديرة	مجعدة
	٢ ـ فلقاتها صفراء	فلقاتها خضراء
	٣ ـ قصرتها بني رمادي (تعطي أزهارا بنفسجية)	قصرتها بيضاء (تعطي أزهارا بيضاء)
القرون	٤ ـ منتفخة	مجعدة
	٥ ـ خضراء	صفراء
الساق	٦ ـ القرون محورية والأزهار على طول الساق	القرون طرفية والأزهار على قمة الساق
	٧ ـ طويلة (٦ـ٧ أقدام)	قصيرة ($\frac{٣}{٤}$ ـ ١ قدم)

وكمثال على تجارب مندل سندرس تجاربه على صفة لون الثمار .

١ ـ زاوج مندل نباتين أحدهما يحمل صفة الثمار الخضراء بصورة نقية ، وآخر يحمل صفة الثمار الصفراء بصورة نقية .

وقد تأكد من نقاوة الصفات بتتالي زراعة هذين النوعين قبل إجراء التجارب لمرات عديدة حتى تأكد أنهما يحملان هاتين الصفتين بصورة نقية.

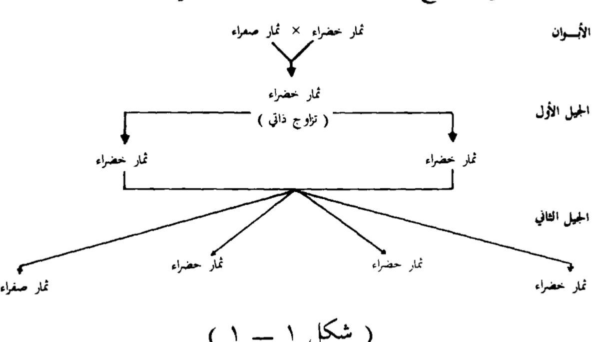
٢ ــ نتجت أفراد هذا الجيل (الجيل الأول) حاملة صفة الثمار الخضراء .

٣ ــ وعندما أجرى تلقيح ذاتي لأفراد الجيل الأول نتج الجيل الثاني ، وكان بعض أفراد هذا الجيل يحمل صفة الثمار الخضراء ، والبعض الآخر يحمل صفة الثمار الصفراء .

وحيث أن صفة الثمار الصفراء لم تظهر في أي فرد من أفراد الجيل الأول ، فقد أشار مندل إلى أن صفة الثمار الخضراء صفة سائدة (Dominant) ، وأن صفة الثمار الصفراء صفة متنحية (Recessive) ، وذلك لأنها لم تظهر في أفراد الجيل الأول ولكنها ظهرت في بعض أفراد الجيل الثاني .

ولقد وجد مندل في تجاربه أن عدد أفراد الجيل الثاني التي تحمل الصفة السائدة ثلاثة أضعاف الأفراد التي تحمل الصفة المتنحية .

ويمكن توضيح المثال السابق تخطيطيا كالتالي :



(شكل ١ ــ ١)

تفسير مندل لنتائج تجاربه :

حاول مندل أن يفسر نتائج تجاربه بأن وضع بعض الفرضيات وهي:

١ ــ إن الصفات الوراثية التي تظهر على الكائن الحي تنشأ من احتوائه على وحدات أو عوامل وراثية مستقلة ، ولكل صفة وراثية عاملها الوراثي الخاص .

٢ ــ توجد هذه العوامل الوراثية بحالة زوجية في الكائن الحي ، أي أن لكل صفة وراثية عاملين وراثيين ، فإما أن يكونا متشابهين فيقال عن الصفة الوراثية أنها نقية ، وإما أن يكونا مختلفين فيقال عن الصفة الوراثية أنها هجينة ، ويسمى الكائن الحي عندها هجين وفي هذه الحالة تسود إحدى الصفتين على الأخرى .

٣ ــ إن الجاميتات نقية ، أي أن كلا منها لا يحتوي إلّا على عامل وراثي واحد لكل صفة وراثية .

وعلى ضوء هذه الفرضيات التي وضعها مندل فسر ما حدث في تجاربه كما يلي :

أ) عند تلقيح نبات البازيلاء أخضر الثمار نقي مع نبات أصفر الثمار حصل الاخصاب بين جاميتات من النبات الأول بها عامل اللون الأخضر وعامل اللون الأصفر للثمار ، وبما أن عامل اللون الأخضر في الثمار سائد وعامل اللون الأصفر فيها متنحي ظهرت جميع أفراد الجيل الأول خضراء الثمار رغم أنه بكل فرد عامل اللون الأخضر وعامل اللون الأصفر للثمار .

ب) عند نضج جاميتات الجيل الأول من النباتات سواء كانت حبوب لقاح أو بويضات تنعزل عوامل لون الثمار في نصف عدد حبوب اللقاح ونصف عدد البويضات ، وهذا يعني أن الجاميت الواحد يحمل عاملا واحد لأي صفة من الصفات إما عامل لون الثمار الأخضر أو عامل لون الثمار الأصفر .

وتبعا لإخصاب الجيل الأول تظهر صفات الجيل الثاني ، وهنا توجد أربعة احتمالات مختلفة ومتساوية ، وهذه الاحتمالات هي :

١ ــ تخصب حبة لقاح تحمل عامل لون الثمار الأخضر بويضة تحمل عامل لون الثمار الأخضر فينتج نبات به عاملان للون الثمار الأخضر أي نبات ثماره خضراء .

٢ ــ تخصب حبة لقاح تحمل عامل لون الثمار الأخضر بويضة تحمل عامل لون الثمار الأصفر ، فينتج نبات ثماره خضراء لأن عامل لون الثمار الأخضر سائد على عامل لون الثمار الأصفر .

٣ ــ تخصب حبة لقاح تحمل عامل لون الثمار الأصفر بويضة تحمل عامل لون الثمار الأخضر ، فينتج نبات ثماره خضراء لسيادة لون الثمار الأخضر على لون الثمار الأصفر .

٤ ــ تخصب حبة لقاح تحمل عامل لون الثمار الأصفر بويضة تحمل عامل لون الثمار الأصفر فينتج نبات به عاملان للون الثمار الأصفر أي نبات ثماره صفراء .

وهذه الاحتمالات الأربعة هي التي تؤدي إلى أن يكون ثلاثة أرباع أفراد الجيل الثاني لون ثمارها خضراء والربع الباقي لون ثمارها صفراء .

ونتيجة للتجارب التي أجراها مندل ، ونتيجة لمعرفته وإلمامه بالرياضيات توصل إلى وضع قانونين عرفا باسمه فيما بعد :

الأول يسمى قانون مندل الأول أو « قانون انعزال الصفات » .

الثاني يسمى قانون مندل الثاني أو « قانون التوزيع الحر » .

قانون منـدل الأول :

ويسمى قانون انعزال الصفات

(Law of Segregation of Characters)

لما وجـد منـدل أن الصـفة المتنحية تظهـر في الجيـل الثـاني استنتج أن الصـفات لا تمتزج ، وأطلق عـلى هـذه النتيجـة اسـم انعـزال الصـفات وينص عـلى :

« إن كل صفة وراثية تمثل بعاملين وراثيين ينعزلان (ينفصلان) عن بعضهما عند تكوين الجاميتات ، ويحتوي كل جاميت على عامل وراثي واحـد » .

وهناك اصطلاحات يجدر الاشارة إليها لتسهيل تتبع دراسة الصفات الوراثية . وهي :

١ ـــ اصطلح على أخذ الحرف الأول من اللفظ الدال على الصفة رمزا مزدوجا للصفات المراد معرفة وراثتها بحيث نكتبه بالحرف الكبير لعامل الصفة السائدة والحرف الصغير لعامل الصفة المتنحية .

مثـلا : نرمز لصفة طول الساق في نبات البازيلاء بالحرف الأول من اللفظ الدال عليها (Tall) ، علما بأن صفة طول الساق سائدة على صفة قصر الساق .

فنرمز لصفة طول الساق (الصفة السائدة) بالرمز (T) ، ونرمز لصفة قصر الساق (الصفة المتنحية) بالرمز (t) .

٢ ـــ إذا كان عاملا الفرد لصفة ما متشابهين ، مثال ذلك وجود عاملا طول الساق (TT) أو عاملا قصر الساق (tt) في الزوج الواحد يسمى الفرد متماثل العوامل أو نقي الصفة .

٣ ــ إذا كان عاملا الفرد لصفة ما مختلفين ، مثال ذلك وجود عامل طول الساق (T) وعامل قصر الساق (t) فنرمز للفرد بالرمز (Tt) ويسمى الفرد متخالف العوامل أو هجين الصفة . ويكون عامل طول الساق (T) عامل متقابل مضاد لعامل قصر الساق (t) ، كما أن عامل قصر الساق (t) متقابل مضاد لعامل طول الساق (T) .

٤ ــ ويمكن تفسير تجارب مندل بواسطة مخطط يسمى مربع بنيت (Punnett Square) باسم العالم البيولوجي روبرت بنيت . وهذا المربع يبين التكوينات الممكنة للجينين المتحكمين بصفة معينة والناتجين عن مشاركة كل من الأبوين وكل مربع في هذا الشكل يبين الزيجوت الناتج عن اتحاد الجاميتات .

مثـال محــلول :

إذا حصل تزاوج بين نبات بازيلاء طويل الساق نقي الصفة ، ونبات بازيلاء آخر قصير الساق ، وكان عامل صفة طول الساق سائد على عامل صفة قصر الساق ، فما هي صفات أفراد الجيل الأول والثاني والثالث ، مثل ذلك بالرموز .

الحـــــل :

نرمز لعامل صفة طول الساق بالرمز T

نرمز لعامل صفة قصر الساق بالرمز t

الأبوان طويل الساق نقي × قصير الساق

التركيب الجينى TT × tt

الجاميتـــات T t

الجيل الأول Tt

إذن جميع أفراد الجيل الأول طويلة الساق هجينة .

تزاوج أفراد الجيل الأول Tt × Tt

جاميتـــات الجيل الأول T,t T,t

نستعمل في الجيل الثاني جدول المربعات (شكل ١ ـــ ٢) .

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	T	t
T	TT طويل الساق نقي	Tt طويل الساق هجين
t	Tt طويل الساق هجين	tt قصير الساق

(شكل ١ ـــ ٢)
مربع بنيت الذي يمثل الدراسة على طول ساق البازيلاء

الجيل الثاني ٣ طويلة الساق

١ قصيرة الساق

مع ملاحظة أن التركيب الجينى للأفراد طويلة الساق :

١ طويلة الساق نقيـة

٢ طويلة الساق هجينة

الجيل الثالث :

توجد خمسة احتمالات في تزاوج أفراد هذا الجيل وهي :

(١) الأبوان طويل الساق نقي × طويل الساق نقي

التركيب الجيني TT × TT

الجاميتـــــات T T

الأفـــــراد TT

جميع الأفراد طويلة الساق نقيـة

(٢) الأبوان طويل الساق نقى × طويل الساق هجين

التركيب الجينى TT × Tt

الجاميتـــــات T T,t

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	T	T
T	TT طويل الساق نقي	TT طويل الساق نقي
t	Tt طويل الساق هجين	Tt قصير الساق هجين

(شكل ١ ــ ٣)

الأفــراد طويلة الســاق

مع ملاحظة أن التركيب الجيني للأفـراد طويلة الســـاق

٢ طويلة الساق نقيــة TT

٢ طويلة الساق هجينة Tt

(٣) الأبوان طويل الساق نقي × قصير الساق

التركيب الجيني TT × tt

الجاميتــــــات T t

الأفــــراد Tt طويلة الساق هجينة

(٤)　الأبوان طويل الساق هجين × طويل الساق هجين

التركيب الجيني　Tt × Tt

الجاميتـــــات　T,t　T,t

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	T	t
T	TT	Tt
t	Tt	tt

(شكل ١ ــ ٤)

الأفــراد :　٣ طويلة الســاق

١ قصيرة الســاق

مع ملاحظـة أن التركيب الجيني للأفراد طويلة الساق :

١ طويلة الساق نقيـة

٢ طويلة الساق هجينة

(٥)　الأبوان قصير الساق × قصير الساق

التركيب الجيني　tt × tt

الجاميتـــــات　t　t

الأفـــــراد　tt

جميع الأفــراد قصــيرة الســاق .

قانـون منـــدل الثـاني :

ويسمى قانـون التوزيـع الحـــــر

(Law of independant assortment)

بعد أن أنهى منـدل تجاربه على صفة وراثية واحدة ، قام بإجراء تجارب على زوجين من الصفات بدلاً من صفة واحدة واختار مندل نبات البازيلاء مرة أخرى لإجراء تلك التجارب .

وكانت بذور النباتات ذات الصفة السائدة مستديرة الشكل صفراء الفلقات ، في حين كانت بذور النباتات ذات الصفة المتنحية متجعدة الشكل خضراء الفلقات ، وكانت جميع هذه الصفات موجودة بصورة نقية وتأكد من نقاوة الصفات بتتالي زراعة هذين النوعين قبل إجراء التجارب لمرات عديدة حتى تأكد أنهما يحملان هذه الصفات بصورة نقية . ثم أجرى بينهما التلقيح الخلطي فنتجت بذور الجيل الأول وكانت كلها مستديرة صفراء .

وعند تلقيح نباتات الجيل الأول بعضها ببعض كانت النتائج في الجيل الثاني تأتي دائما بالنسبة التالية : (راجع شكل ١ ــ ٥) .

٩ بذور مستديرة الشكل صفراء الفلقات .
٣ بذور مستديرة الشكل خضراء الفلقات .
٣ بذور مجعـدة الشكل صفراء الفلقات .
١ بـذرة مجعـدة الشكل صفراء الفلقات .

وبعملية حسابية بسيطة يتضح لنا أن النسبة بين كل صفتين متضادتين (المستديرة والمجعدة ــ الأصفر والأخضر) في الجيل الثاني هي ١٢ : ٤ أي ٣ : ١

مثلا : نسبة البذور مستديرة الشكل : البذور مجعدة الشكل .

أو نسبة البذور صفراء الفلقات : البذور خضراء الفلقات هي ١٢ : ٤ أي ٣ : ١

وهذا يعني أن كل زوج من الصفات المتضادة حر في توزيعه عن الزوج الآخر ، فصفة استدارة البذور ليست ملازمة لصفة البذور صفراء الفلقات ، وصفة تجعد البذور ليست ملازمة لصفة البذور خضراء الفلقات.

وهذا ما نشاهده في بذور الجيل الثاني . حيث تكونت بذور مستديرة الشكل صفراء الفلقات وبذور مجعدة الشكل صفراء الفلقات .

ولقد توصل مندل من تجاربه هذه إلى وضع قانونه الثاني (قانون التوزيع الحر) الذي ينص على « إن مكونات الأزواج المختلفة من العوامل الوراثية تتوزع توزيعا مستقلا عند تكوين الجاميتات » . (كما يظهر بالجدول رقم ٤) .

نرمز للون البذور صفراء الفلقات بالرمز Y

ونرمز للون البذور خضراء الفلقات بالرمز y

نرمز للبذور مستديرة الشكل بالرمز R

ونرمز للبذور مجعدة الشكل بالرمز r

الأبوان : بذور مستديرة صفراء الفلقات × بذور مجعدة خضراء الفلقات

التركيب الجينى RRYY × rryy

الجاميتـــــات RY ry

الجيـــل الأول RrYy

جميع أفراد الجيل الأول بذورها مستديرة الشكل صفراء الفلقات هجينة

تزاوج الجيل الأول ذاتيا

التركيب الجيني للآباء RrYy × RrYy

الجاميتـــــات RY , Ry , rY , ry — RY , Ry , rY , ry ,

جاميطات مذكرة / جاميطات مؤنثة	RY	Ry	rY	ry
R Y	RR YY البذور مستديرة صفراء الفلقات	RR Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات	Rr YY البذور مستديرة صفراء الفلقات	Rr Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات
R y	RR Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات	RR yy البذور مستديرة خضراء الفلقات	Rr Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات	Rr yy البذور مستديرة خضراء الفلقات
r Y	Rr YY البذور مستديرة صفراء الفلقات	Rr Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات	rr YY البذور مجعدة صفراء الفلقات	rr Yy البذور مجعدة صفراء الفلقات
r y	Rr Yy البذور مستديرة صفراء الفلقات	Rr yy البذور مستديرة خضراء الفلقات	rr Yy البذور مجعدة صفراء الفلقات	rr yy البذور مجعدة خضراء الفلقات

(شكل ١ ــ ٥)

استخدام تجارب مندل لمعرفة صفة الآباء من الأبناء :

نستطيع أن نعرف صفة الأجيال الناتجة إذا عرفنا صفة الأبوين كما مر سابقا ، ونستطيع كذلك معرفة صفة الأبوين إذا عرفنا صفة الأبناء . ويكون ذلك على النحو التالي :

١ ــ إذا كان جميع أفراد جيل معين لنبات البازيلاء يحمل صفة اللون البنى الرمادي لقصرة البذرة (مع العلم أن اللون البني الرمادي سائد على اللون الأبيض في قصرة البذرة) .

أ) الأبوان كلاهما يحمل صفة اللون البني الرمادي لقصرة البذرة بصورة نقية .

ب) أو : أحد الأبوان يحمل صفة اللون البني الرمادي بصورة نقية والآخر يحمل صفة اللون الأبيض .

٢ ــ إذا نتج جيل معين لنبات البازيلاء ثلاثة أرباع أفراده تحمل صفة اللون البني الرمادي لقصرة البذرة والربع الباقي تحمل اللون الأبيض .

نستنتج أن كلا الأبوين يحمل صفة اللون البني الرمادي لقصرة البذرة بصورة هجينة .

٣ ــ إذا نتج جيل معين لنبات البازيلاء جميع أفراده تحمل صفة اللون الأبيض لقصرة البذرة نستنتج أن كلا الأبوين يحملان صفة اللون الأبيض لقصرة البذرة .

٤ ــ إذا نتجت أفراد جيل معين لنبات البازيلاء نصفها يحمل صفة اللون البني الرمادي لقصرة البذرة والنصف الآخر يحمل صفة اللون الأبيض لقصرة البذرة . نستنتج أن : أحد الأبوين يحمل صفة اللون البني الرمادي لقصرة البذرة بصورة هجينة والآخر يحمل صفة اللون الأبيض لقصرة البذرة .

التلقيح الاختبــاري (Test Cross)

لم يكن مندل يعرف قبل إجراء تجاربه أن أفراد الجيل الأول (سواء أكان مذكرا أو مؤنثا) ينتج نوعين متساويين من الجاميتات بنسبة واحدة (أي بنسبة ١ : ١) ، ولكنه تمكن من استنتاج ذلك من النتائج التي حصل عليها في الجيل الثاني .

ولقد استنتج أنه لا يمكن الحصول على نسبة ٣ : ١ في الجيل الثاني إلا إذا كانت أفراد الجيل الأول تنتج نوعين متساويين من الجاميتات .

وقد أجرى مندل تجربة بعد الجيل الثاني تعتبر من أدق التجارب وهي تجربة التلقيح الاختباري ، وفي هذه التجربة لقح نباتات الجيل الأول عكسيا مع الأب المتنحي .

وبذلك نرى أن ما افترضه مندل من أن الجيل الأول ينتج نوعين متساويين من الجاميتات صحيح ، لأن الناتج عن التلقيح الاختباري يتكون من مجموعتين مظهريتين أحدهما تحتوي على الصفة السائدة والأخرى على الصفة المتنحية بنسبة ١ : ١

مثال على التلقيح الاختباري

عند تلقيح نبات بازيلاء طويل الساق نقي الصفة مع نبات آخر قصير الساق نتجت أفراد الجيل الأول طويلة الساق هجينة . ولقح نباتات الجيل الأول (طويلة الساق هجينة) مع الأب المتنحي قصير الساق ، ونوضح ذلك بالرموز .

أب من الجيل الأول طويل الساق هجين

تركيبة الجيني Tt

الأب المتنحي قصير الساق

تركيبه الجيني tt

الأبوان Tt × tt

الجاميتات T,t t

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	T	t
t	Tt	tt
t	Tt	tt

(شكل ١ ــ ٦)

الأفراد الناتجة ٢ طويل الساق : ٢ قصير الساق أي

بنســـبة ١ طويل الساق : ١ قصير الساق

وهذا ما توصل إليه مندل عند إجراء التلقيح الاختباري

ويعتبر التلقيح الاختباري أفضل الاختبارات للتفرقة بين الأفراد السائدة التي تحمل الصفة بصورة نقية والأفراد السائدة التي تحمل الصفة بصورة هجينة ، أو بمعنى آخر للدلالة على النمط الجيني للفرد (Genotype) وهذا يتم بواسطة التزاوج للأفراد الحاملين للصفة السائدة مع فرد أو أكثر من الأفراد الحاملين للصفة المتنحية . فإذا ظهر فرد حامل للصفة المتنحية بين أفراد الجيل الناتج فإن الفرد الحامل للصفة السائدة هجين . وإذا كان جميع أفراد الجيل يحملون الصفة السائدة ، فمعنى ذلك أن الفرد الحامل للصفة السائدة نقي .

ونلاحظ أن الأفراد الناتجة من التلقيح الاختباري يعطي مقياسا دقيقا لتكرار كل نوع من أنواع الجاميتات التي تكونها أفراد الجيل الأول ، والسبب في ذلك أن كل جاميتات الجيل الأول تتحد مع نوع واحد من الجاميتات الذي يكونها الفرد الذي يحمل الصفات المتنحية ، هذه الجاميتات تحمل الجينين المتنحيين وبالتالي فإنها لا تخفي تأثير أي جين موجود في الجاميته الآتية من أفراد الجيل الأول .

وقد أثبت مندل نتائجه بتجارب تزاوج أفراد ثنائية الصفات وأخرى ثلاثية الصفات . وكلما زاد عدد أزواج العوامل زادت عدد التجمعات الممكنة .

عند تزاوج فردين كل منهما ثلاثي الصفات ، ارسم مربع بنيت مقسما إلى ٦٤ مربعا صغيرا .

مثـال محلول :

عند تلقيح نبات بازيلاء طويل الساق ، لون قصرة بذوره بنيا رماديا ، أخضر الثمار نقي الصفات ، مع نبات آخر قصير الساق ، لون قصرة بذوره بيضاء ، أصفر الثمار ، صف أفراد الجيل الأول والثاني مستعملا الرموز ومربع بنيت .

نرمـز لـ :

طول الساق بالرمز T

قصر الساق بالرمز t

اللون البني الرمادي لقصرة البذرة : B

اللون الأبيض لقصرة البذرة : b

الثمار الخضراء G

الثمار الصفراء g

الأبوان : طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار × قصير الساق أبيض القصرة أصفر الثمار .

التركيب الجيني TTBBGG × ttbbgg

الجاميتـــــات TBG tbg

الجيـــل الأول

جميع أفراد الجيل الأول طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار هجين .

عند تلقيح الجيل الأول ذاتيا

التركيب الجيني للأبوان TtBbGg × TtBbGg

الجاميتات الذكرية والأنثوية

TBG , TBg , TbG , Tbg , tBG , tBg , tbG , tbg

جاميطات مذكرة / جاميطات مؤنثة	TBG	TBg	TbG	Tbg	tBG	tBg	tbG	tbg
T B G	TTBBGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBBGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار
T B g	TTBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBBgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TTBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TtBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBBgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار
T b G	TTBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTbbGG طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	TTbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	TtBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtbbGG طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	TtbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار
T b g	TTBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TTBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TTbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	TTbbgg طويل الساق أبيض القصرة أصفر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TtbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	Ttbbgg طويل الساق أبيض القصرة أصفر الثمار
t B G	TtBBGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBBGG قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBBGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBbGG قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBbGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار
t B g	TtBBGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBBgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	ttBBGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBBgg قصير الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	ttBbGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBbgg قصير الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار
t b G	TtBbGG طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtbbGG طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	TtbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	ttBbGG قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBbGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttbbGG قصير الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	ttbbGg قصير الساق أبيض القصرة أخضر الثمار
t b g	TtBbGg طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	TtBbgg طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	TtbbGg طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	Ttbbgg طويل الساق أبيض القصرة أصفر الثمار	ttBbGg قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار	ttBbgg قصير الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار	ttbbGg قصير الساق أبيض القصرة أخضر الثمار	ttbbgg قصير الساق أبيض القصرة أصفر الثمار

(شكل ١ ــ ٧)

وعند تحليل مربع بنيت السابق نجد أن النسب بين الصفتين المتضادتين هي كالتالي :

طويل الساق	:	قصير الساق	
٤٨	:	١٦	أي
٣	:	١	

بني رمادي القصرة	:	أبيض القصرة	
٤٨	:	١٦	أي
٣	:	١	

أخضر الثمار	:	أصفر الثمار	
٤٨	:	١٦	أي
٣	:	١	

ونجد كذلك ثماني طرز شكلية مختلفة هي :

١ ــ طويل الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار .
٢ ــ طويل الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار .
٣ ــ طويل الساق أبيض القصرة أخضر الثمار .
٤ ــ طويل الساق أبيض القصرة أصفر الثمار .
٥ ــ قصير الساق بني رمادي القصرة أخضر الثمار .
٦ ــ قصير الساق بني رمادي القصرة أصفر الثمار .
٧ ــ قصير الساق أبيض القصرة أخضر الثمار .
٨ ــ قصير الساق أبيض القصرة أصفر الثمار .

كما يوجد ٢٧ طراز جيني مختلف هي :

TTBBGG ,	TTBBGg ,	TTBbGG ,	TTBbGg
TtBBGG ,	TtBBGg ,	TtBbGG ,	TtBBgg
TTBBgg ,	TtBbgg ,	TTbbGG ,	TTbbGG
TtbbGg ,	TTBbgg ,	TTbbGg ,	TTbbgg
Ttbbgg ,	TtBbGg ,	ttBBGG ,	ttBBGg
ttBbGG ,	ttBbGg ,	ttBBgg ,	ttBbgg
ttbbGG ,	ttbbGg ,	ttbbgg	

وعندما نأخذ بالاعتبار أن الانسان يحمل ليس فقط ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية بل عشرة آلاف زوج من العوامل الوراثية ، لذا فإنه من الصعب جدا أن يكون هناك شخصان متماثلان فيما عدا التوأمين المتماثلين .

ـــ الاحتمالات في الوراثة (Probability in genetics) .

بنى مندل استنتاجاته على قوانين الاحتمال ، وهي قوانين رياضية تفيد في التنبؤ عن الفرص التي يمكن لحدث ما أن يتم فيها . وحدود الاحتمال تبدأ من الصفر إذا لم يحصل الحدث إلى «١» إذا كانت الحادثة تحدث باستمرار. ومن أبسط وأشهر الأمثلة على ذلك لعبة قذف قطعة من النقود إلى أعلى لتستقر بعد سقوطها إما على الوجه (الصورة) أو الظهر (الكتابة) ، وقد قام بهذه التجربة العالم الفرنسي بوفون (Buffon) . حيث رمى قطعة النقود (٤٠٤٠) مرة أحصى بعدها أن القطعة وقعت على الصورة (٢٠٤٠) مرة وعلى الكتابة (٢٠٠٠) مرة . أي أن نسبة ظهور الصورة ٥٠٪ (أي $\frac{1}{2}$)من مجموع عدد الرمي . وكلما زاد عدد الرمي كلما قاربت نسبة ظهور الصورة إلى ٥٠٪ من مجموع عدد الرمي .

ويمكن تعريف قيمة احتمال وقوع حدث معين من بين مجموعة من الأحداث الممكنة بأنها نسبة عدد مرات وقوع هذا الحدث إلى مجموعة الأحداث الممكنة كلها .

فلو قذفنا قطعة النقود عدد من المرات (ع) وأن عدد مرات وقوعها على وجه معين يساوي (ط) فإن قيمة احتمال وقوعها على هذا الوجه (ق أ) تساوي : ق أ = $\frac{ط}{ع}$

وهناك مبدآن من مبادئ الاحتمال يلعبان دوراً هاماً في علم الوراثة ، وسوف نتناولهما بالأمثلة فيما يلي :

١ ــ إذا قذفت قطعة نقود إلى أعلى عشوائيا ، فإما أنها تستقر على الصورة أو الكتابة إلى أعلى ، وبذلك نرى أننا أمام احتمالين ، ولكننا نحصل على احتمال واحد في كل محاولة .

ما احتمال الحصول على الصورة ؟

وما احتمال الحصول على الكتابة ؟

لنفرض أننا قذفنا هذه القطعة ١٠ مرات وفي كل محاولة ظهرت الصورة دون الكتابة . فإذا تساءلنا ما احتمال ظهور الكتابة في المرة الحادية عشرة ؟

الإجابة : إن الاحتمال في المرة الحادية عشرة مساوياً للاحتمال في المرة الأولى أي $\frac{١}{٢}$.

من المثال السابق نصل إلى المبدأ الأول من مبادئ الاحتمال وهو « أن نتيجة أية محاولة لحدث محتمل لا تؤثر في نتائج المحاولات التي تليها لنفس الحدث » .

٢ ــ إذا قذفت قطعتين متماثلتين من النقود في نفس الوقت عشوائيا

ما احتمال أن تظهر الصورتان معا ؟

ما احتمال أن تظهر الكتابتان معا ؟

ما احتمال أن تظهر الصورة والكتابة معاً ؟

إن احتمال أن تظهر الصورة في كل قطعة من النقود هو $\frac{١}{٢}$ وبذلك

فإن احتمال أن تظهر الصورتان معا هو $\frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} = \frac{١}{٤}$

أي أن هناك احتمال واحد لظهور الصورتان معا في كل ٤ محاولات .

وأيضاً هناك احتمال واحد لظهور الكتابتان معا في كل ٤ محاولات .

وبالنسبة لاحتمال ظهور الصورة والكتابة معا يكون :

$$\frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} + \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} = \frac{١}{٤} + \frac{١}{٤} = \frac{١}{٢}$$

أي احتمالا واحداً في كل محاولتين .

من المثال السابق نصل إلى نص المبدأ الثاني من مبادئ الاحتمال وهو « أن احتمال وقوع حدثين مستقلين مع بعضهما في الوقت نفسه هو ناتج ضرب احتمال كل منهما على حدة » .

ويجب ملاحظة أن حاصل جمع احتمال حدوث الحالة واحتمال عدم حدوثها يساوي ١ .

تطبيق مبادئ الاحتمالات في الوراثة :

المثـال الأول :

عند إجراء تلقيح بين نبات طويل الساق هجين بآخر طويل الساق هجين فإنه من المحتمل الحصول على الحالات التالية :

نرمز لصفة طول الساق بالرمز T

نرمز لصفة قصر الساق بالرمز t

الأبوان : طويل الساق هجين × طويل الساق هجين

التركيب الجيني Tt × Tt

الجاميتـــات T , t T , t

الأفـــــراد TT , Tt , Tt , tt

طويل نقي (TT) ، طويل هجين (Tt) ، قصـير (tt) .

واحتمال ظهور كل حالة هو $\frac{١}{٤}$

ما احتمال الحصول على أفراد بها الصفة السائدة .

الاحتمال هـو :

$$\frac{١}{٤} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٤} = \frac{٣}{٤}$$

المثـال الثـاني :

عندما أجرى مندل تجاربه واختار زوجا من الصفات الوراثية المتضادة (بذور مستديرة وثمار خضراء نقية الصفات) ، (بذرة مجعدة وثمار صفراء) فقد وجد في الجيل الثاني النسبة : ٩ : ٣ : ٣ : ١ كيف نوضح هذه النسبة وفق مبادئ الاحتمالات ؟

نرمز للصفات بالرموز التالية :

بذور مستديرة R
بذور مجعدة r
ثمار خضراء G
ثمار صفراء g

الأبوان : مستدير البذور أخضر الثمار (نقي) × مجعد البذور أصفر الثمار

التركيب الجيني	RRGG	×	rrgg
الجاميتات	RG		rg
الأفراد	RrGg		

مستديرة البذور خضراء الثمار هجينة

عند التلقيح الذاتي لأفراد الجيل الأول فإن :

التركيب الجيني للأبــوان : RrGg × RrGg

الجاميتات المذكرة والمؤنثة : RG , Rg , rG , rg

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	RG	Rg	rG	rg
RG	RRGG مستدير البذور أخضر الثمار	RRGg مستدير البذور أخضر الثمار	RrGG مستدير البذور أخضر الثمار	RrGg مستدير البذور أخضر الثمار
Rg	RRGg مستدير البذور أخضر الثمار	RRgg مستدير البذور أصفر الثمار	RrGg مستدير البذور أخضر الثمار	Rrgg مستدير البذور أصفر الثمار
rG	RrGG مستدير البذور أخضر الثمار	RrGg مستدير البذور أخضر الثمار	rrGG مجعد البذور أخضر الثمار	rrGg مجعد البذور أخضر الثمار
rg	RrGg مستدير البذور أخضر الثمار	Rrgg مستدير البذور أصفر الثمار	rrGg مجعد البذور أخضر الثمار	rrgg مجعد البذور أصفر الثمار

(شكل ١ ــ ٨)

بالاطلاع على الجدول السابق الذي يمثل الجيل الثاني فإن الاحتمالات تكون كما يلي :

مستدير البذور ــ أخضر الثمار = ٣/٤ × ٣/٤ = ٩/١٦

مستدير البذور ــ أصفر الثمار = ٣/٤ × ١/٤ = ٣/١٦

مجعد البذور ــ أخضر الثمار = ١/٤ × ٣/٤ = ٣/١٦

مجعد البذور ــ أصفر الثمار = ١/٤ × ١/٤ = ١/١٦

أي أن النسبة تكون = ٩/١٦ : ٣/١٦ : ٣/١٦ : ١/١٦

أي ٩ : ٣ : ٣ : ١

الكروموسومات وأهميتها في نقل الصفات الوراثية :

أثناء عمل مندل ، ظهر اكتشاف جديد للعالم ستراسبرجر (Strasburger) عام ١٨٧٥م . فقد لاحظ أن نواة الخلية أثناء الانقسام تحتوي على أجسام خيطية سميت « الكروموسومات » .

كما لاحظ أن عددها في كل خلية ناتجة عن الانقسام ، مساوٍ لعدد الكروموسومات في الخلية الأصلية .

ولاحظ فيما بعد أن الجاميتات سواء كانت مذكرة أو مؤنثة يكون بها نصف عدد الكروموسومات التي بالخلية الأم ، وذلك لأن كل خلية تناسلية تنشأ بالانقسام الاختزالي . وعند تكوين الزيجوت أثناء التلقيح يعود العدد الأصلي الثابت من الكروموسومات ، إذ يأتي للزيجوت نصف كروموسوماته من الأب والنصف الآخر من الأم ، أي أن الكروموسومات موجودة بحالة زوجية .

وأول من أوضح أهمية الكروموسومات في حمل الصفات الوراثية هو العالم الأمريكي توماس مورجان وقد استعمل في أبحاثه ذبابة الفاكهة الأمريكية دروزوفيلا (Drosophila) المعروفة بذبابة الخل .

واختار مورجان ذبابة الخل للأسباب التالية :

١ ــ تعدد العوامل الوراثية فيها (درس حتى الآن ٥٠٠ عامل)

٢ ــ قلة عدد الكروموسومات وضخامتها .

٣ ــ سرعة تكاثرها وقصر دورة حياتها (الزوج من هذه الذبابة ينتج أكثر من ٢٠٠ ذبابة خلال ٨ ــ ١٤ يوما)

٤ ــ يمكن تربيتها في المختبر في زجاجات تحتوي على سائل مغذي لها (مزيج من الموز والخميرة) كما يسهل التحكم فيها بسبب انجذابها بشدة نحو مصدر الضوء .

٥ ـــ تفقس الاناث قبل الذكور وبذلك يمكن فصل الجنسين قبل حدوث التزاوج العشوائي .

تجـــربة مورجــــــان :

قام مورجان بالتجربة التالية والتي تم تعليلها بنظرية الكروموسومات ، فأخذ ذبابة الخل طويلة الجناح ولقحها بذبابة قصيرة الجناح فنتجت أفراد الجيل الأول كلها طويلة الجناح ، أما أفراد الجيل الثاني فنتجت بنسبة ٣ طويلة الجناح : ١ قصيرة الجناح . ولقد تم تعليل هذه التجربة بنظرية الكروموسومات معتمدا على الحقائق التالية :

١ ـــ كل خلية عادية من جسم الكائن الحي تحتوي نواتها على عدد ثابت من الكروموسومات خاص بهذا النوع ، وتوجد هذه الكروموسومات بشكل أزواج . فعدد الكروموسومات في الاسكارس (٤) أربعة وفي ذبابة الخل (٨) ثمانية وفي الأرنب (٤٤) أربع وأربعون وفي الانسان (٤٦) ست وأربعون وفي القمح (١٤) أربعة عشر وفي الذرة (٢٠) عشرون .

٢ ـــ كل خلية تناسلية في أي كائن حي تحتوي نواتها على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية العادية ، أي بها كروموسوم واحد من كل زوج من الأزواج السابقة .

٣ ـــ عند الإخصاب يصبح عدد الكروموسومات مساوٍ للعدد الثابت للنوع .

٤ ـــ الكروموسوم عبارة عن خيط يحمل حبيبات صغيرة جداً مختلفة الحجم تعرف بالكروموميرات ، ويحمل كل كروموميرعاملًا وراثياً لصفة معينة ، ويقابله تماماً في نفس المكان على الكروموسوم الآخر العامل الوراثي

الآخر للصفة نفسها ، وقد يكون هذان العاملان متشابهان ويكون الفرد نقي الصفة أو يكون العاملان مختلفان ويكون الفرد هجيناً لتلك الصفة .

٥ ــ *العوامل الوراثية مرتبة على الكروموسومات ترتيباً طولياً في* مواضع الكروموميرات وكل منها له مكان ثابت في الكروموسوم الخاص به .

٦ ــ يرجع سلوك الصفات في انتقالها من جيل إلى آخر إلى الكروموسومات وما تحمله من عوامل .

٧ ــ عاملا الصفتين المتضادتين قد لا يكونا بنفس القوة فيغلب تأثير أحدهما على الآخر ، وبذا تكون هناك صفة سائدة وصفة متنحية .

ــ تعليل تجربة مورجان بنظرية الكروموسومات :

أصبح من المعلوم أن الكروموسومات هي جهاز الوراثة في الكائن الحي لأنها هي التي تحمل العوامل الوراثية والتي سميت فيما بعد بالجينات (Genes) .

وقد درس مورجان الصفات المتضادة على ضوء تجارب مندل مطبقا سلوك الكروموسومات على انعزال الصفتين المتضادتين . وعلى ذلك فإن جين (عامل) إحدى الصفتين موجود على كروموسوم خاص وجين الصفة المضاد موجود على الكروموسوم النظير .

التعـــليل :

١ ــ الذبابة طويلة الجناح التي استعملت في التلقيح تحمل جين طول الجناح على كروموسوم خاص ، وبما أن لهذه الذبابة زوجا متماثلاً من

الكروموسومات فيكون الجين في حالة زوجية ، ولو رمزنا لجين طول الجناح بالرمز (T) فيكون التركيب الجيني للذبابة (TT) .

٢ ــ والذبابة قصيرة الجناح لها أيضا زوجا من الجينات لهذه الصفة محمولان على نفس زوج الكروموسومات المشابه لزوج الكروموسومات الذي يحمل جين طول الجناح في الذبابة الأولى ولو رمزنا لجين قصر الجناح بالرمز (t) فيكون التركيب الجيني للذبابة (tt) .

٣ ــ عند تكوين الجاميتات يذهب كروموسوم واحد فقط من كل زوج متماثل إلى الجاميت ، وعلى ذلك فإن كل جاميت من الذبابة طويلة الجناح به جين واحد هو (T) فقط كما أن كل جاميت من الذبابة قصيرة الجناح به جين واحد فقط هو (t) .

٤ ــ عند تلقيح جاميت طويل الجناح وآخر قصير الجناح ، فالإخصاب بين الجاميتين يجمع الجينين (T , t) في أفراد الجيل الأول ولسيادة جين الطول (T) على جين القصر (t) تكون جميع أفراد الجيل الأول طويلة الجناح هجينة .

٥ ــ عند تكوين جاميتات الجيل الأول لا يوجد بأي جاميت منها سوى كروموسوم واحد فقط من كل زوج متماثل ، أي أنه يوجد بالجاميت الواحد كروموسوم واحد من زوج الكروموسومات ، أما الكروموسوم الذي يحمل جين طول الجناح (T) أو الكروموسوم الذي يحمل جين قصر الجناح (t) .

٦ ــ عند تزاوج أفراد الجيل الأول مع بعضها ينتج أفراد الجيل الثاني بعضها طويلة الجناح والأخرى قصيرة الجناح بنسبة ٣ : ١

تفسير قانوني مندل بنظرية الكروموسومات :

إن قانون مندل يفسر سلوك الكروموسومات ، ويدل هذا السلوك على أن عاملي كل صفة من الصفات يوجدان على زوج من الكروموسومان المتماثلان ، وهذان العاملان ليسا بنفس القوة ، وعند تكوين جاميتات هذا الجيل لا يوجد من كل زوج كروموسومي إلّا كروموسوم واحد في كل جاميت يحمل إما عامل الصفة السائدة أو يحمل عامل الصفة المتنحية ، أي تنعزل العوامل ، وعندما يتكون الجيل الثاني نتيجة اتحاد هذه الجاميتات تنتج أفراد سائدة الصفة وأخرى متنحية بنسبة ٣ : ١

وهذا يعني أن نتائج تجارب مندل تتفق تماما مع نتائج الفحص المجهري للنواة كما أوضحه مورجان .

الصفات غير المندلية :

من دراستنا لتجارب مندل في الوراثة عرفنا أن هناك ثباتا في انتقال الصفات الوراثية من جيل إلى آخر . ولكن استنتاجات مندل كانت مبنية على تجارب مستمدة من نوع من النباتات ، ولا يمكن تعميمها على جميع الكائنات الحية . وقد تبين من الملاحظات والتجارب التي أجريت فيما بعد ، ظهور اختلافات في الصفات الوراثية ، وتسمى مثل هذه الصفات بالصفات غير المندلية أو اللامندلية ، وسوف نتناول فيما يلي بعضا من هذه الصفات :ـــ

١ ــ انعــدام السيــادة (Lack of dominance) :

في تجربة على دراســة لون الريش في الدجـاج الأندلسي (Andolusian Fowl) ، وجد عند تزاوج فردين أحدهما أسود اللون والآخر أبيض اللون ، أن الأفراد الناتجة في الجيل الأول كانت زرقاء رصاصية . وعند تزاوج الأفراد الزرقاء الرصاصية تزاوجا ذاتيا نتجت أفراد بالنسب التالية :

١ أسود : ٢ أزرق رصاصي : ١ أبيض

وأمكن تفسير ذلك على أساس انعدام السيادة . أي أنه في حالة الفرد الخليط يظهر كل من صفتى الأبوين معا ، أي يحتفظ كل جين بتأثيره المظهري في الفرد . وتمثل هذه الحالة بالرموز كما يلي :

نرمز للون الريش الأبيض بالرمز W

ونرمز للون الريش الأسود بالرمز B

الأبوان : أبيض × أسود

التركيب الجيني WW × BB

الجاميتـــات W B

أفراد الجيل الأول : WB أزرق رصاصي

عند التلقيح الذاتي بين أفراد الجيل الأول

التركيب الجيني للأبوان WB × WB

الجاميتـــات W,B W,B

الجيل الثاني BB WB WW

النســـبة ١ : ٢ : ١

ولو كانت هذه الحالة مثل حالات مندل لوجب أن يخفي أحد الجينين تأثير الجين الآخر ويسود عليه تماما وتظهر جميع أفراد الجيل الأول إما

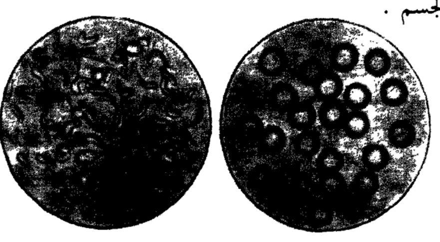
باللون الأبيض أو اللون الأسود ، إلا أنه ظهرت جميع الأفراد باللون الرصاصي وهو لون وسط بين الأسود والأبيض بمعنى أن الجين (W) والجين (B) لم يستطع أن يسود أحدهما على الآخر سيادة تامة .

وكان كل من الجينين (W) و (B) في الحالة الفردية أضعف أثرا عنه في الحالة الزوجية .

ويلاحظ في حالة انعدام السيادة أن صفة الجيل الأول تكون وسطا بين صفتي الأبوين ، وأن الجيل الثاني يتميز إلى ثلاثة مجموعات ، ربعها مماثل لأحد الأبوين الأصليين وربعها الثاني مماثل للأب الآخر ، ونصفها وسط بين صفتي الأبوين ويمكن تمييزه من الشكل الخارجي .

٢ ــ السيادة غير التامة (Incomplete dominance) :

في عام ١٩١٠م مرض طفل بحمى برد عادية . وقد لازمته الحمى مدة طويلة وعند إجراء فحص شامل له وجد الطبيب أن الطفل يشكو من أنيميا حادة (فقر دم) . وقد أظهر الفحص المجهري لدمه صورة مدهشة (شكل ١ ــ ٩ ب) بسبب وجود نسبة عالية من كريات الدم الحمراء المنجلية بدلا من الشكل القرصي مما يقلل قدرتها على حمل الأكسجين ، وقد تعمل على إغلاق الشعيرات الدموية فيقلل ذلك نسبة الأكسجين الواصلة لخلايا وأنسجة الجسم .



أ ــ كريات دم حمراء عادية . (شكل ١ ــ ٩) ب ــ كريات دم حمراء منجلية .

وبعد ذلك بعدة سنوات وجدت نفس الحالة في دم رجل وولده ، وكلاهما يشكوان من الأنيميا . وسميت الحالة أنيميا الخلية المنجلية (Sickle - Cell anemia) وهى مميزة تماما عن الأنواع العادية من الأنيميا وسرعان ما أصبح واضحا أن المرض وراثي بطريقة ما .

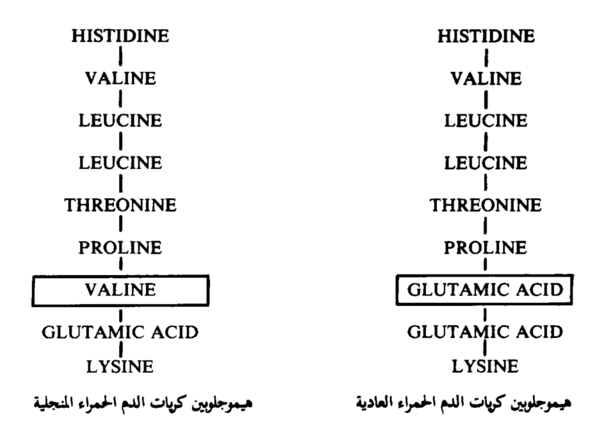
وبالدراسة المستفيضة وجد أنه بالاضافة إلى صورة الدم المشاهدة في المرضى المصابين بأنيميا الخلية المنجلية ، يحدث نوع متوسط سهل التمييز في دم أقارب المرضى المصابين ، وبصفة خاصة يوجد دائما في كلا والدي المصاب دون أن يئن هؤلاء الأقارب والآباء من المرض .

وأمكن تفسير توارث المرض بأن سبب الحالة يرجع إلى جين يرمز له بالرمز (S) يسبب في الأفراد غير متجانسي الجينات (Ss) نوعا متوسطا للمرض المنجلي غير المصحوب بالأنيميا ، (أي أنه أدى إلى ظهور نسبة قليلة من خلايا الدم المنجلية دون أن تحدث الأنيميا) ، أما الأفراد المتجانسي الجينات (SS) فيصابون بالأنيميا . وقد حدا ظهور الصفة الوسطية بالباحثين اعتبار الجين (S) غير سائد على الجين (s) وسميت هذه الحالة بالسيادة غير التامة (الناقصة) .

وللكشف على المريض تحفظ عينة من دمه لمدة يوم أو أكثر بعيدة عن الهواء ، وعندها تظهر خلايا الدم بأشكال غريبة .

وقد أوضحت الفحوص العملية للدم أن الفرق بين الهيموجلوبين في الكريات الحمراء المنجلية والعادية يكمن في إحلال الحامض الأميني الفالين (Valin) مكان حامض الجلوتاميك (Glutamic acid) (شكل ١ــ١٠) .

كما وجد أن دم الأفراد غير متجانسي العوامل يحوي كلا النوعين من الهيموجلوبين بنسبة متساوية .



(شكل ١ ــ ١٠)

٣ ــ تراكم الجينات (Multiple genes)

في عام ١٧٦٠ م أعلن عالم البيولوجيا جوزيف كولرويتر (J. Kolreuter) أنه لم يستطع تفسير ما لاحظه من نتائج عندما كان يجري تزاوجا بين سلالات طويلة وأخرى قصيرة من نبات الدخان .

فقد لاحظ أن الأفراد الناتجة من التزاوج تكون متوسطة الطول في الجيل الأول ، أما في الجيل الثاني فلاحظ تنوعا متدرجا في الطول (طويل ، أقصر قليلا ، متوسط ، دون المتوسط ، قصير) .

وتفسير ذلك أن بعض الصفات الوراثية تخضع لتأثير أكثر من زوج من الجينات وليس هناك سيادة لجين معين منها ، تسهم جميع الجينات في إظهار الصفة ، وقد سميت حالة التوارث هذه بالوراثة الكمية

(Quantitative inheritance) . وسوف ندرس وراثة لون الجلد في الانسان كمثال على تراكم الجينات .

ــ وراثة لون الجلد في الانسان :

يوجد في أجسام الأفراد ماعدا الألبانيو مادة ملونة (صبغة الميلانين) وهي في السلالات البيضاء قليلة وفي السلالات السوداء كثيرة ، وهناك على الأقل زوجان من الجينات تتحكم في كمية المادة الملونة في الجسم فإذا رمزنا لجيني السواد بالرمزين (BB) ولجيني البياض بالرمزين (bb) . فالزنجي النقي لديه زوجين من جينات السواد هما (BBBB) ، والأبيض النقي لديه زوجين من جينات البياض هما (bbbb) .

ويمكن توضيح وراثة لون الجلد في الانسان فيما يلي :

الأبــوان : أبيض × زنجي

التركيب الجيني : bbbb × BBBB

الجاميتـــــات : bb BB

الجيـــــل الأول : BBbb

وسط بين اللونين الأسود والأبيض

عند تزاوج أفراد الجيل الأول تنفصل الجينات في الجاميتات حسب الاحتمالات التالية :

١ أسود (BB) : ٢ وسط (Bb) : ١ أبيض (bb) .

وتظهر الصفات لأبنائهم كما هو مبين في (الشكل ١ ــ ١١) ونسبها .

١ أسود : ٤ يميل إلى السواد : ٦ وسط : ٤ يميل إلى اللون الأبيض : ١ أبيض .

جاميات مذكرة / جاميات مؤنثة	BB	Bb	Bb	bb
BB	BBBB أســود	BBBb يميل إلى السواد	BBBb يميل إلى السواد	BBbb وســـط
Bb	BBBb يميل إلى السواد	BBbb وســـط	BBbb وســـط	Bbbb يميل إلى البياض
Bb	BBBb يميل إلى السواد	BBbb وســـط	BBbb وســـط	Bbbb يميل إلى البياض
bb	BBbb وســـط	Bbbb يميل إلى البياض	Bbbb يميل إلى البياض	bbbb أبيض

(شكل ١ ــ ١١)

٤ ــ الجينـــات القاتـــلة (Lethal genes) :

الجينات القاتلة هي عوامل وراثية تؤثر تأثيرا مباشرا على حيوية الكائنات الحية ، فقد لاحظ العلماء أن موت الجنين وهو في أطواره الأولى ليس نتيجة مصادفة ، وإنما لأن له تركيبا جينيا معينا ، وبذلك عرفت هذه الجينات بالجينات القاتلة .

ومن الأمثلة المعروفة لهذه الحالة دراسة لون الفراء الأصفر في الفئران ، وانعدام تكون الكلوروفيل في بعض النباتات .

ــ وراثة الفراء الأصفر في الفئران :

يمثل اللون الأصفر في الفئران الصفة السائدة واللون الأسود الصفة المتنحية .

فعند تزاوج فأران لونهما أصفر هجين ، فمن المتوقع أن تكون نسبة الفئران الصفراء إلى السوداء هي ٣ : ١ ، ولكن وجد أن النسبة الفعلية التي تم الحصول عليها هي ٢ أصفر : ١ أسود . وعند تشريح رحم الأم بعد الوضع وجد بداخله جنينا مكتمل النمو أصفر اللون ميتا .

وقد أمكن تفسير ذلك وراثيا على ضوء الجينات القاتلة ، فإذا رمزنا للجين المسبب لاصفرار اللون بالرمز (Y) ، وللجين المسبب للون الأسود بالرمز (y) ، فإن التركيب الجيني لكل من الأبوين (Yy) ، وينتج عن كل أب نوعان من الجاميتات أحدهما (Y) والآخر (y) .

ومن ثم يكون أفراد الجيل الناتج كالتـالي :

- فأر تركيبه الجيني (YY) لونه أصفر يموت في رحم الأم ويرجع ذلك إلى اجتماع الجينين السائدين معا مما يسبب قتل الجنين .
- فأران تركيبهما الجيني (Yy) ، ولونهما أصفر ، ويعيشان لأنهما مختلفا الجينين بالنسبة للون الأصفر .
- فأر تركيبه الجيني (yy) لونه أسود ، ويعيش لعدم وجود الجينين السائدين .

وهكذا تكون النسبة بين اللون الأصفر واللون الأسود في الجيل الناتج هي ٢ : ١ ، وذلك لموت الأفراد الحاملة للجينين السائدين (YY) في المرحلة الجنينية .

ويمكن تلخيص ذلك فيما يلي :

الأبـــوان أصفر هجين × أصفر هجين

Yy × **Yy**

الجيل الناتج   YY   ×   Yy   yy

أصفر نقي   أصفر هجين   أســـــود

١ : ٢ : ١

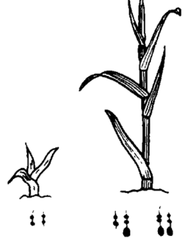
(يموت في المراحل الجنينية)

ـ انعدام تكون الكلوروفيل في بعض النباتات :

في بعض الأحيان لا يتكون الكلوروفيل في أنسجة النبات مما يؤدي إلى موت النبات مبكرا ، ومن أمثلة ذلك نبات الذرة .

وبدراسة هذه الظاهرة وجد أن نبات الذرة الذي ينمو نموا طبيعيا ، يوجد في نهاية زوج معين من كروموسوماته عقد كبيرة نوعا ما يحيط بها عدد من الجينات من بينها جين يعمل على إنتاج مادة الكلوروفيل اللازمة لحياة النبات (شكل ١ ـ ١٢) .

وقد وجد أنه عند فقد العقد في نهاية كلا الكروموسومين لا يتكون كلوروفيل ويموت النبات على هيئة بادرة صغيرة ، أما إذا فقد في أحد الكروموسومين فإن مادة الكلوروفيل تتكون ، مما يدل على أن جين الكلوروفيل بمفرده كاف للتأثير حتى حين يعمل على انفراد ، لأن النباتات التي لها كروموسوم طبيعي وكروموسوم بدون عقد يتكون بها كلوروفيل وتنمو طبيعية .



شكل ١ ـ ١٢ عدم تكون الكلوروفيل في نبات الذرة

٥ ـ تعـدد البـدائل (Multiple alleles) :

درسنا فيما سبق وراثة الجينات الثنائية المتضادة مثل طول الساق وقصره في نبات البازيلاء ، وفي مثل هذه الحالات يقع الجينان المتضادان في نفس الموقع الكروموسومي في كل كروموسومين متماثلين .

ولكن هناك حالات يوجد فيها أكثر من جينين متضادين ، ومهما يكن عدد البدائل من الجينات فإن الفرد لا يحمل في خلايا جسمه (على الكروموسومات) أكثر من زوج من هذه البدائل (الجينات) وفي جامياته جين واحد فقط من الجينات البديلة المتعددة .

وليتضح المقصود بالبدائل (Alleles) سوف نأخذ المثالين التاليين :

أ) وراثة الأجنحة في ذبابة الخل :

إن الأجنحة الطويلة لذبابة الخل هي الصفة الطبيعية للذبابة ، ولكن مع الزمن ظهرت طفرتان على نفس الموقع الجيني للصفة الأصلية . وبدراسة كل طفرة على حدة وجد أن إحداهما تؤثر على شكل الجناح ويصبح مختزلا (Vestigial) والأخرى جعلت الجناح مختزلا ملتويا (Antiered Vestigial) .

وبما أن الصفتين ظهرتا على نفس الموقع الجيني لصفة الجناح الطويل الطبيعي ، فإن كلًا منهما يعتبر بديلًا للآخر وكذلك للبديل الأصلي ، وكل منهما متنح بالنسبة للبديل الأصلي (الجناح الطويل) .

فإذا رمزنا لصفة الجناح الطويل السائد بالرمز (T) فإن جميع أشكال الأجنحة الأخرى تتمثل بجينات متنحية ويرمز لشكل الجناح المختزل بالرمز (t_v) ويرمز لشكل الجناح المختزل الملتوي بالرمز (t_{va}) .

وبذلك يصبح لدينا ثلاثة تراكيب جينية مختلفة تقع على نفس الموقع الكروموسومي وهي :

T T الذباب طويل الجناح نقي

tv tv الذباب مختزل الجناح

tva tva الذباب مختزل وملتو الجناح

وعند تزاوج ذبابة طويلة الجناح نقية ، وأي طراز متنحي فيكون الذباب الناتج طويل الجناح هجين مثل (Ttv) أو (Ttva) وهكذا .

ب) وراثة لون العين في ذبابة الخل :

اللون الأحمر هو اللون الطبيعي للعين ، ولكن يحدث أحياناً أن تنتج أنواع من الذباب لها ألوان العيون الآتية : الأبيض (White) ، والنبيذي (Wine) ، والمرجاني (Coral) ، والمشمشي (Appricot) . وقد تبين من التلقيحات المختلفة أن جين اللون الأحمر يسود سيادة تامة على البدائل الأخرى .

ولو رمزنا لصفة لون العيون الحمراء بالرمز (R) ، وأي بديل يظهر بعد ذلك في هذه السلسلة من البدائل يرمز له بالرمز (r) ويضاف إليه حرف مميز للصفة الجديدة . نرمز لعامل اللون الأبيض (rw) ، وعامل اللون النبيذي (rwi) وعامل اللون المرجاني (rc) ، وعامل اللون المشمشي (ra) .

ويكون التركيب الجيني للذباب أحمر العيون النقي (RR) . وإذا حصل تزاوج بين ذبابة حمراء العين نقية وأي طراز متنحي فيكون الذباب الناتج أحمر هجين مثل (Rrw) أو (Rrc) أو (Rra) ... وهكذا .

وإذا حصل تزاوج بين ذبابتين تحمل كل منهما صفة لون العيون المتنحية يكون الناتج وسطا بينهما ، فمثلًا تبدو الأفراد الناتجة عن التزاوج بين ذباب أبيض العيون وآخر مشمشي العيون ، ذباباً لون عيونه مشمشي فاتح وتركيبها الجيني (rwra) .

ــ الارتباط والعبور والخرائط الوراثية للكروموسومات :

Linkage, Crossing over & Genetic Mapping of Chromosomes

أصبح من المعلوم لدينا الآن أن مندل أجرى تجاربه على نبات البازيلاء ودرس سبعة أزواج فقط من الصفات المتضادة . ومن حسن حظه أو من حسن حظ علم الوراثة أن هذه السبعة أزواج من الصفات المتضادة كانت مستقلة في وراثتها عن بعضها بحيث أن انتقالها من جيل إلى الجيل التالي كان يسير وفق قاعدة عامة وهي التي لاحظها مندل ووضحها في قانونه الأول (قانون انعزال الصفات) . وقانونه الثاني (قانون التوزيع الحر) . أي أن كل زوج من زوجي الجينات لكل صفة من الصفات السبع محمول على زوج مختلف من الكروموسومات وتعرف أزواج الجينات في هذه الحالة بأنها غير مرتبطة (unlinked) .

ومنذ عام ١٩٠٠م تقريبا بدأت الكروموسومات كمكون من مكونات النواة تستحوذ على انتباه علماء الخلية وعلماء الوراثة ، وبالأخص عندما لوحظ سلوك الكروموسومات المنتظم سواء في الانقسام الاختزالي أو في الانقسام غير المباشر ، ومشابهة سلوك الكروموسومات المنتظم هذا لسلوك الجينات المستنتجة من انعزالات الأشكال المظهرية أثناء انتقال الصفات من جيل إلى الجيل التالي .

وبناء على ذلك فقد تم ساتون (Sutton) عام ١٩٠٣م بالرأي التالي : « إن الجينات لابد وأن تكون أجزاء من الكروموسومات أو على الأقل فهي محمولة على الكروموسومات » . وقد أصبحت هذه النظرية حقيقة ملموسة عندما أثبتت تجارب مورجان عام ١٩١٠م وبريدجز (Bridges) عام ١٩١٦م أن الجينات محمولة على الكروموسومات .

نتيجة لذلك فإن وراثة الجينات وانتقالها من جيل لآخر لابد وأن تكون مماثلة تماما لوراثة الكروموسومات وانتقالها من جيل لآخر .

وبتقدم المعلومات الوراثية والسيتولوجية عن الكائنات الحية المختلفة اتضح أن أي كائن حي لابد وأن يحمل عددا من الجينات أكبر بكثير جدا من عدد أزواج الكروموسومات التي يحملها ، مثال ذلك ذبابة الخل (الدروسوفيلا) بها أربعة أزواج من الكروموسومات ، بينما تحمل هذه الكروموسومات حوالي عشرة آلاف جين ، معنى ذلك أن أي كروموسوم لابد وأن يحمل عددا من الجينات . وكل الجينات المحمولة على كروموسوم واحد تكون مجموعة ارتباطية (Linkage group) وتنتقل هذه المجموعة الارتباطية دائما كوحدة واحدة من جيل إلى الجيل التالي فيما عدا في الحالات التي يحدث فيها عبور كما سنوضح فيما بعد .

وبناء على ذلك فإن عدد المجاميع الارتباطية في أي كائن حي يساوي العدد الأحادي (نصف عدد) للكروموسومات في هذا الكائن الحي .

وقد أشار ساتون عام ١٩٠٣م إلى هذه الحقيقة عندما قال أن هناك حالات لن تخضع سلوك الجينات فيها لقوانين مندل ، وهي الحالات التي يكون فيها جينين أو أكثر محمولان على نفس الكروموسوم .

فمن الواضح أن الجينات المرتبطة على نفس الكروموسوم لن تخضع لقانون التوزيع الحر لأنها سوف تنتقل من جيل إلى الجيل التالي كوحدة واحدة في جاميت واحد .

ــ اكتشاف الجينات المرتبطة (Linked genes) :

أول نتائج تم الحصول عليها أثناء دراسة زوجين من الصفات ، واختلفت نسب الأشكال المظهرية فيها عن النسب المتوقعة على أساس قانون التوزيع الحر ، كانت هي النتائج التي حصل عليها العالمان بيتسون وبانيت (Bateson & Punnet) عام ١٩٠٥ ــ ١٩٠٨م ، فقد لاحظا أنه بالتهجين بين سلالتين من نبات البازيلاء يختلفان عن بعضهما في زوجين من الصفات المتضادة ، أن النسب المظهرية المشاهدة في الجيل الثاني لا تتفق مع النسب المتوقعة على أساس قانون مندل الثاني ، وكانت أزواج الصفات التي استعملاها هي :

١ ــ أزهار ارجوانية — Purple Flowers
أزهار حمراء Red Flowers

٢ ــ حبوب لقاح طويلة — Long pollen grains
حبوب لقاح مستديرة Round pollen grains

وقد أثبتت نتائج التجارب لكل زوج من أزواج الصفات على حدة أن صفة الأزهار الأرجوانية سائدة على صفة الأزهار الحمراء ، وأن صفة حبوب اللقاح الطويلة سائدة على صفة حبوب اللقاح المستديرة .

وعند إجراء تزاوج بين سلالتين نقيتين إحداهما أرجوانية الأزهار طويلة حبوب اللقاح ، والأخرى حمراء الأزهار مستديرة حبوب اللقاح ، كانت نباتات الجيل الأول تحمل الصفتين السائدتين ، أي أنها كانت كلها أرجوانية الأزهار طويلة حبوب اللقاح هجينة ، وبناء على ذلك كان المتوقع في الجيل

الثاني الحصول على النسبة المعتادة (٩ : ٣ : ٣ : ١) ولكن النتائج المشاهدة خالفت المتوقع كما يتضح من الجدول التالي (شكل ١ ـــ ١٣) .

	المشـــــاهد		المتوقع على أساس قانون التوزيع الحـــــر	
أشكال مظهرية	العدد	النسبة	العدد	النسبة
١ـــ أرجوانية الأزهار طويلة حبوب اللقاح	٢٩٦	٫٠٩٣٢	٢٤٠	٫٥٦٢٥ $\left(\frac{٩}{١٦}\right)$
٢ـــ أرجوانية الأزهار مستديرة حبوب اللقاح	١٩	٫٠٤٤٥	٨٠	٫١٨٧٥ $\left(\frac{٣}{١٦}\right)$
٣ـــ حمراء الأزهار طويلة حبوب اللقاح	٢٧	٫٠٦٣٢	٨٠	٫١٨٧٥ $\left(\frac{٣}{١٦}\right)$
٤ـــ حمراء الأزهار مستديرة حبوب اللقاح	٨٥	٫١٩٩١	٢٧	٫٠٦٢٥ $\left(\frac{١}{١٦}\right)$
	٤٢٧	**١**	**٤٢٧**	**١**

(شكل ١ ـــ ١٣)

نلاحظ من هذه النتائج أن مجموعتي الشكل المظهري :ـــ

١ ـــ أرجوانية الأزهار وطويلة حبوب اللقاح ، والمتوقعة حسب قانون التوزيع الحـــر بنسبة($\frac{٩}{١٦}$)

٢ ـــ حمراء الأزهار ومستديرة حبوب اللقاح ، والمتوقعة حسب قانون التوزيع الحـــر بنسبة($\frac{١}{١٦}$)كانتا موجودتين بكميات أكبر مما هو متوقع ، وهذه تسمى تراكيب الصفات الأبوية (Parental combinations) ومن ناحية أخرى نلاحظ أن مجموعتي الشكل المظهري :ـــ

١ ـــ أرجوانية الأزهار مستديرة حبوب اللقاح والمتوقعة حسب قانون التوزيع الحـــر بنسبة($\frac{٣}{١٦}$)

٢ ـــ حمراء الأزهـار طويلة حبـوب اللقاح والمتوقعة حسب قانـون التوزيع الحـر بنسبة($\frac{٣}{١٦}$)كانتا موجودتين بكميات أقل مما هو متوقع وهذه تسمى التراكيب الجديدة (Recombinations) .

معنى ذلك أن الجينات التي أتت من أب معين في جامية واحدة بقيت مع بعضها ولم تتوزع توزيعا حرا عندما بدأت أفراد الجيل الأول في تكوين جامياتها . فمثلًا الأب (أرجواني الأزهار ـــ طويل حبوب اللقاح) أعطى لأفراد الجيل الأول الجينين السائدين للون الأزهار الأرجواني ولطول حبوب اللقاح ، وبناء على هذه النتائج فإن هذين الجينين بقيا مع بعضهما عندما بدأت أفراد الجيل الأول تكون جامياتها ولم ينفصلا عن بعضهما ويتوزعا توزيعل حرا ، وكذلك فإن الأب الآخر (أحمر الأزهار ـــ مستدير حبوب اللقاح) أعطى لأفراد الجيل الأول الجينين المتنحين للون الأزهار الحمراء ولاستدارة حبوب اللقاح .

وهذين الجينين لم يتوزعا توزيعا حرا في أفراد الجيل الأول إلا في حالات قليلة . وفي الحالات القليلة التي انفصل فيها جيني لون الأزهار الأرجواني وحبوب اللقاح الطويلة عن بعضهما وكذلك انفصل فيها جيني لون الأزهار الحمراء وحبوب اللقاح المستديرة عن بعضهما ، حدث التوزيع الحر ونتيجة لذلك حصلتا على التراكيب الجديدة ، وهي مجموعتي الشكل المظهري (أرجوانية الأزهار مستديرة حبوب اللقاح) ، (وحمراء الأزهار ـــ طويلة حبوب اللقاح) .

وكما هو ملاحظ من (الشكل ١ ـــ ١٣) فإن نسب هذه المجاميع كانت أقل من المتوقع على أساس التوزيع الحر وذلك لأن الجاميتات التي كونتها كانت نسبتها أقل مما هو متوقع على أساس التوزيع الحـر .

ولم يستطع باتسون وبنيت تفسير هذه النتائج على أساس سلوك الجينات المرتبطة . ولكن الدراسات الوراثية أثبتت فيما بعد أن الجين الخاص بلون الأزهار مرتبط مع الجين الخاص بشكل حبة اللقاح أي محمول معه على نفس الكروموسوم .

نسب الجاميتات كما تظهر في التلقيح الاختباري :ـــ

إذا أخذنا أفراد الجيل الأول الناتج من تزاوج سلالتين من البازيلاء أرجوانية الأزهار وطويلة حبوب اللقاح نقية الصفات مع حمراء الأزهار ومستديرة حبوب اللقاح (صفتان متنحيتان) وأردنا أن نتعرف على النسب الفعلية لأنواع الجاميتات المختلفة التي تكونها هذه الأفراد نجري التلقيح الاختباري .

نرمز للون الأزهار الأرجواني بالرمز R

نرمز للون الأزهار الحمـــراء بالرمز r

نرمز لحبوب اللقاح الطويلة بالرمز T

نرمز لحبوب اللقاح المستديرة بالرمز t

الشكل المظهري للأبوين أرجواني الأزهار طويل حبوب اللقاح × أحمر الأزهار مستدير حبوب اللقاح .

التركيب الجيني للأبوين RRTT × rrtt

الجـاميتـــــــــــات RT rt

أفـــراد الجيـــل الأول RrTt

الشكل المظهري لأفراد الجيل الأول : أرجواني الأزهار ـــ طويل حبوب اللقاح (هجينـــــة) .

التلقيــح الاختبــاري :

الأبوان : أرجواني الأزهار ــ طويل حبوب اللقاح (هجين) × أحمر الأزهار ــ مستدير حبوب اللقاح .

التركيب الجيني RrTt × rrtt

فإذا كانت ظاهرة التوزيع الحر تحدث في أفراد الجيل الأول عند تكوين الجاميتات فإننا نتوقع أن تنتج هذه الأفراد أربعة أنواع من الجاميتات بنسب متساوية كما يلي :

RT : Rt : rT : rt

٢٥ر : ٢٥ر : ٢٥ر : ٢٥ر

وبذلك تكون نتيجة التلقيح الاختباري كالآتي :

RrTt × rrtt

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	RT	Rt	rT	rt
rt	RrTt أرجوانية الأزهار طويلة حبوب اللقاح	Rrtt أرجوانية للأزهار مستديرة حبوب اللقاح	rrTt حمراء الأزهار طويلة حبوب اللقاح	rrtt حمراء الأزهار مستديرة حبوب اللقاح

(شكل ١ ــ ١٤)

وعندما قام بيتسون وبنيت بإجراء التلقيح الاختباري وجدا أن النتائج المشاهدة فعلًا تختلف عن هذه النتائج المتوقعة على أساس التوزيع الحر كما يتضح من الجدول التالي (شكل ١ ــ ١٥)

الشكل المظهري	التركيب الجيني	النسب المتوقعة حسب قانون التوزيع الحر	النسب المشاهدة
١ــ أرجوانية الأزهار طويلة حبوب اللقاح	RRTT	٢٥ر	٤٣٧ر
٢ــ أرجوانية الأزهار مستديرة حبوب اللقاح	Rrtt	٢٥ر	٠٦٣ر
٣ــ حمراء الأزهار طويلة حبوب اللقاح	rrTt	٢٥ر	٠٦٣ر
٤ــ حمراء الأزهار مستديرة حبوب اللقاح	rrtt	٢٥ر	٤٣٧ر

(شكل ١ ــ ١٥)

وواضح أن النتائج المشاهدة لا تنطبق على النسب المتوقعة حسب قانون التوزيع الحر ، وتتضح كذلك ثلاثة علاقات هامة هي :

١ ــ إن الأشكال المظهرية ذات التكرار الكبير في أفراد التلقيح الاختباري كانت هي التراكيب الأبوية .

وهي (أرجوانية الأزهار ــ طويلة حبوب اللقاح) ، (حمراء الأزهار ــ مستديرة حبوب اللقاح) .

٢ ــ إن النسب المئوية لهذه التراكيب الأبوية كانت متساوية ، فكل منهما موجود بنسبة ٤٣٧ر

٣ ــ إن النسب المئوية للتراكيب الجديدة في أفراد التلقيح الاختباري وهي (أرجوانية الأزهار ــ مستديرة حبوب اللقاح) ، (حمراء الأزهار ــ طويلة حبوب اللقاح) كانت متساوية ، وكل منهما موجود بنسبة ٠٦٣ر

ولقد نشر مورجان عام ١٩١١م نتائج التهجين والتي يظهر فيها سلوك الجينات المرتبطة في ذبابة الخل (الدروسوفيلا) والمثال التالي يوضح الارتباط بين الجينات :

أولًا : عند تزاوج ذبابة الخل رمادية اللون طويلة الأجنحة (نقية الصفات) مع ذبابة سوداء اللون قصيرة الأجنحة .

(مع العلم أن اللون الرمادي سائد على اللون الأسود والأجنحة الطويلة سائدة على الأجنحة القصيرة) .

تنتج أفراد الجيل الأول رمادية اللون طويلة الأجنحة (هجينة) .

وعند إجراء تلقيح اختباري على أن تكون الأنثى من الجيل الأول حصلنا تقريبا على النتائج التالية :

٤١٪ من الأفراد رمادية اللون طويلة الأجنحة .

٤١٪ من الأفراد سوداء اللون قصيرة الأجنحة .

٩ ٪ من الأفراد سوداء اللون طويلة الأجنحة .

٩ ٪ من الأفراد رمادية اللون قصيرة الأجنحة .

ثانيـاً : أما عند تزاوج ذبابة الخل سوداء اللون طويلة الأجنحة مع ذبابة رمادية اللون قصيرة الأجنحة ، وكانت الصفات السائدة موجودة بصورة نقية ، نتجت أفراد الجيل الأول رمادية اللون طويلة الأجنحة (هجينة) .

وعند إجراء تلقيح اختباري على أن تكون الأنثى من الجيل الأول حصلنا تقريبا على النتائج التالية :

٤١٫٥٪ من الأفراد سوداء اللون طويلة الأجنحة .

٤١٫٥٪ من الأفراد رمادية اللون قصيرة الأجنحة .

٨٫٥ ٪ من الأفراد سوداء اللون قصيرة الأجنحة .

٨٫٥ ٪ من الأفراد رمادية اللون طويلة الأجنحة .

وإذا تأملنا النتائج في الحالة الأولى والثانية ، فإننا نجد أن ٨٣٪ من الأفراد الناتجة عن التلقيح الاختباري هي صفات الأبوان (٤١٫٥٪ لكل أب) مما يدل على أن صفة لون الجسم وصفة طول الأجنحة صفات مرتبطة .

ونفسر هذه الظاهرة بأن جينات الصفات المرتبطة محمولة على نفس الكروموسوم ، فلا يمكن لهذه الجينات أن تتوزع بصورة مستقلة لتعطي نتائج تتمشى ووراثة زوجين من الصفات المتضادة (٩ : ٣ : ٣ : ١) .

ولكن ظهرت صفات جديدة بنسبة ١٧٪ إذن لابد أنه حصل إنفصال لعرى الارتباط بين الجينات عند تكوين الجاميتات ، مما هيأ فرصاً جديدة للتنوع وظهور هذه التراكيب الجديدة . وظاهرة العبور هي التي تفسر لنا ظهور هذه الصفات الجديدة .

العبـــــور (Crossing over) :

بقي التفسير الصحيح لأسباب ظهور انحرافات واضحة عن النسب المتوقعة في قانون التوزيع الحر مجهولًا لفترة من الوقت ، حتى توصل مورجان عام ١٩١١م إلى التفسير الصحيح لهذه المشكلة ، ففي ذلك الوقت كانت الدراسات قد شملت عدداً من أزواج الصفات المتضادة في ذبابة الخل

(الدروسوفيلا) ولوحظت الحالات التي يدرس فيها زوجين من الجينات وتعطي النسب المتوقعة على أساس قانون التوزيع الحر ، ولوحظت كذلك الحالات الأخرى التي تعطي في الجيل الثاني انحرافات واضحة عن النسب المتوقعة في الجيل الثاني .

وكان مورجان يعتقد في صحة نظرية ساتون القائلة بأن الجينات هي أجزاء من الكروموسومات ، وكان مورجان يعتقد أن الانحرافات عن قانون التوزيع الحر إنما ترجع إلى وجود زوجي العوامل الوراثية على نفس الزوج من الكروموسومات .

ولتفسير نتائج بيتسون وبنيت على هذا الأساس كان لابد من فرض أن الجينات يمكنها الانتقال من كروموسوم لآخر ، وهذا الفرض ضروري لتفسير ظهور التراكيب الجديدة ، وذلك لأن نظرية ساتون بمفردها تستدعي ظهور مجموعتي شكل مظهري فقط في الأفراد الناتجة من التلقيح الاختباري وهما المجموعتان الأبويتان ، ومشاهدة التراكيب الجديدة تستدعي انتقال الجينات من كروموسوم لآخر .

وفي ذلك الوقت قدم العالم السويدي جانسن (Janssen) عام ١٩٠٩م بعض الأدلة السيتولوجية التي تؤيد صحة فكرة انتقال الجينات من كروموسوم لآخر .

فقد وصف جانسن ظاهرة تحدث أثناء الالتصاق (Synapsis) بين الكروموسومين المتماثلين (Homologous chromosomes) في الدور التمهيدي الأول للانقسام الاختزالي ، وسمى هذه الظاهرة العبور .

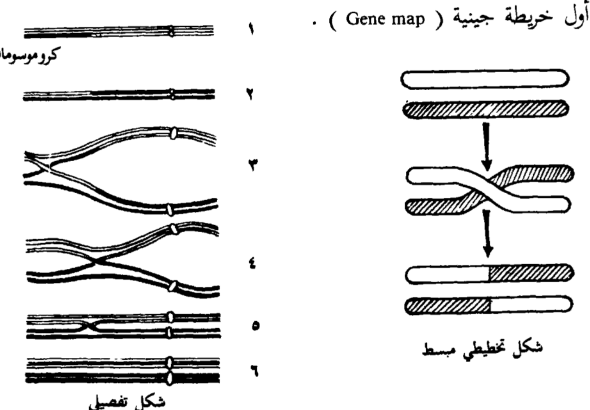
ولتوضيح كيفية حدوث العبور لابد من تتبع خطوات الانقسام الاختزالي . ففي الدور التمهيدي الأول تتلاصق الكروموسومات المتشابهة على مدى طولهما .

وفي الخطوات التالية للانقسام ينفرج الكروموسومان المتشابهان أحدهما عن الآخر بحيث يرتبطان معا بنقط اتصال تسمى الكيازمات (Chiasmata) ، وهي تمثل نقط العبور الوراثي .

وعند الكيازمات يمثل العبور تبادلًا واقعياً بين المادة الكروماتينية للكروموسومات المتشابهة (شكل ١ ــ ١٦) . وفي الانقسام تنشطر الكروموسومات طولياً إلى كروماتيدات ، وتحدث الكيازمات على اثنين فقط من الكروماتيدات الأربعة للوحدة الثنائية . وبذلك نرى أن العبور يحدث بين الكروماتيدات وليس بين الكروموسومات . وتزداد فرص حدوث العبور بازدياد عدد الكيازمات الموجودة بين الكروماتيدين النظيرين .

ومن الواضح أنه لابد من حدوث كيازمة بين أي جينين لكي يمكن اكتشاف العبور بينهما .

وقد توصل العلماء إلى معرفة متى تنفصل الصفات المرتبطة بالعبور مكونة ارتباطاً جديداً في الأفراد الناتجة ، وبدراسة ظاهرة العبور أمكن عمل أول خريطة جينية (Gene map) .



شكل (١ ــ ١٦) العبور بين الكروموسومات في الانقسام الاختزالي

ـ الخرائط الوراثيـة (Genetic maps) :

استفاد علماء الوراثة من نتائج تجارب الارتباط والعبور في عمل خرائط تحدد مواقع الجينات على الكروموسومات ، وذلك عن طريق استخدام معدل انفصال الصفات المرتبطة وحدوث التركيب الجديد للجينات .

وأظهرت التجارب الوراثية التي أجريت على كائنات مختلفة أن نسبة العبور بين أي زوج من أزواج الجينات هي نسبة ثابتة ومحددة ، والسبب في هـذا هـو أن كل جـين له موقـع جيني (Locus) ثابت ومحـدد على الكروموسوم ، وعلى ذلك يمكننا استعمال نسب العبور بين أزواج الجينات لترتيبها طولياً على الكروموسومات الحاملة لها . ونسبة العبور بين زوج من الجينات تتوقف على المسافة الكروموسومية التي تفصل هذا الزوج من الجينات عن بعضه ، فكلما زادت المسافة بين جينين كلما زاد الاحتمال بأن عبوراً سوف يحدث بينهما ، وبالتالي فإن الجينات القريبة جداً من بعضها البعض سيكون الارتباط بينهما قويا ويكون العبور بينهما نادراً .

والوحدة الطولية المستعملة لتقدير المسافة الكروموسومية بين موقعين جينيين هي المسافة التي تسمح بحدوث نسبة عبور مقدارها ۰٫۱ ، معنى ذلك أنه إذا لاحظنا نسبة عبور مقدارها ۰٫۵ بين الجينين (B - A) فإن ذلك يعني أن المسافة بينهما هي (٥) وحدات عبورية . فإذا فرضنا وجود جين ثالث هو (C) وأردنا ترتيب هذه الجينات الثلاث طولياً ، فإننا نعتمد على نسبة العبور بين كل زوج ، حيث أن هذه النسبة هي التي تحدد المسافة مقدرة بالوحدات العبورية .

فنسبة العبور بين الجينين (B - A) كانت ۰٫۵ فالمسافة بينهما (٥) وحدات عبورية ، وإذا كانت نسبة العبور بين الجينين (A - C) (۰٫۷) ، فالمسافة بينهما (٧) وحدات عبورية وإذا كانت نسبة العبور بين

الجينين (C - B) (١٢ر) ، فالمسافة بينهما (١٢) وحدة عبورية ومن ذلك يمكننا استنتاج الترتيب الطولي لهذه الجينات الثلاثة وعمل الخريطة الوراثية كالآتي : (شكل ١ ــ ١٧) .

C A B

٧ ٥

(شكل ١ ــ ١٧)

ومن الضروري في هذه العملية تحديد موقع جين من الجينات المدروسة لتحديد موقع الجينات الأخرى .

وبتطبيق هذه الطريقة أمكن ترتيب عدد كبير من الجينات على الكروموسومات الحاملة لها . وهناك طريقة أخرى تستخدم في رسم خرائط الكروموسومات ، وتتلخص هذه الطريقة في إتلاف أجزاء صغيرة من الكروموسومات باستخدام الأشعة السينية مثلًا ، فإذا نتج عن ذلك شذوذ في إحدى الصفات أمكن الاستدلال على مكان الجين الذي أدى إلى ظهور هذه الصفة على الكروموسوم .



الفصل الثاني

الوراثة الجزيئية

Molecular Genetics

اتضح لنا من الفصل الأول أن الجينات محمولة على الكروموسومات ، وهذه الجينات مسؤولة عن الصفات المتوارثة . ولكن من أي مادة تصنع الجينات ؟ وكيف تؤدي عملها ؟

وبذلك تركز البحث حول التركيب الجزيئي ووظائف الجينات .

ولقد أصبحت الفيروسات والبكتيريا مواد تجارب على نطاق واسع ، وهذه الكائنات الحية صغيرة وبسيطة التركيب نسبياً وتتكاثر بسرعة .

الشروط الواجب توافرها في المادة الوراثية :

هناك شروط لابد من توافرها في الجزيئات حتى يمكنها أن تقوم بوظيفة حمل المعلومات الوراثية ، وهذه الصفات هي :

١ ـــ يجب أن تكون قادرة على حمل معلومات ذات فائدة بيولوجية على أن تحفظ هذه المعلومات بصورة ثابتة .

٢ ـــ تملك القدرة على التكاثر والانتقال بدقة وبالصورة الثابتة من جيل إلى آخر .

٣ ـــ قادرة على التحكم في تكوين جزيئات بيولوجية أخرى وبالتالي خلايا وكائنات حية تضمن استمرار النوع .

ولكي يتحقق هذا لابد من وجود طريقة ما لترجمة المعلومات الوراثية المخزونة في المادة الوراثية وتحويلها إلى صورة منتجة ، أي أنه لا يكفي أن تكون المادة الوراثية قادرة على إكثار نفسها فقط ، بل يجب أن تكون قادرة على إنتاج أنواع أخرى من الجزيئات .

٤ ــ يجب أن تتميز المادة الوراثية بقدرة محدودة على التغير ، وقد يبدو هذا متعارضا مع ما سبق ، وهو ضرورة ثبات المادة الوراثية ــ ولكن القدرة على التغير صفة تمليها عملية التطور البيولوجي .

ويتم التغير إما عن طريق الطفرة أو عن طريق التراكيب الجديدة .

وتتكون الكروموسومات من نوعين من الجزيئات العضوية الكبيرة هي البروتينات والأحماض النووية .

والأحماض النووية نوعان : الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين (Deoxyribonucleic acid) ويسمى اختصاراً (DNA) ، والحامض النووي الرايبوزي (Ribonucleic acid) ويسمى اختصاراً (RNA) . وبقي الصراع قائماً بين علماء الوراثة أي من هذه الجزيئات الكبيرة الثلاث يحمل المعلومات الوراثية .

وأثبتت التجارب العلمية خلال السنوات ١٩٤٠ ــ ١٩٥٠م أن المعلومات الوراثية تكمن في الأحماض النووية ، وأكثر دقة تكمن في (DNA).

(أما في بعض أنواع الفيروسات التي لا تحتوي على (DNA) فإنّ (RNA) هو الذي يحمل المعلومات الوراثية) .

فتركيب (DNA) هو نفسه في جميع أنواع الخلايا في الفرد الواحد ، وأيضا كمية (DNA) في كل خلية هي كمية ثابتة في النوع الواحد (فالجاميتات تحتوي على نصف الكمية الموجودة في الخلية الجسدية لنفس النوع) بينما يتنوع بروتين الكروموسومات كثيراً .

التركيب الكيميائي للأحماض النووية :

سميت هذه المركبات بهذه الأسماء لأنها مركبات حامضية موجودة في نواة الخلية وتتركب الأحماض النووية من وحدات تسمى نيوكليوتيدات (Nucleotides) وتتكون كل وحدة من هذه الوحدات من :

١ ــ سكر خماسي Five - Carbon Suger

٢ ــ قاعدة نيتروجينية Nitrogen base

٣ ــ مجموعة فوسفات Phosphate group

وترتبط هذه النيوكليوتيدات ببعضها عن طريق جزيء السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات ولذلك يعرف جزيء الحامض النووي باسم (سلسلة عديدة النيوكليوتيد)، ويختلف (DNA) عن (RNA) في نوع السكر الخماسي وكذلك في قاعدة من القواعد النيتروجينية .
فالسكر الخماسي في حالة (RNA) هو الرايبوز (Ribose) بينما في حالة (DNA) هو الرايبوز منقوص الأكسجين (Deoxyribose) . والفرق بينهما يشمل ذرة الكربون رقم (٢) حيث يوجد عليها ذرة هيدروجين في حالة سكر الرايبوز منقوص الأكسجين بينما يوجد عليها مجموعة هيدروكسيل في حالة سكر الرايبوز وهذا الفرق قد يبدو خفيفا إلا أنه يكفي تماماً لتمييز أي منهما عن الآخر بالطرق الكيميائية .
والقواعد النيتروجينية مركبات حلقية تحتوي على النيتروجين والكربون والهيدروجين وهي نوعان :

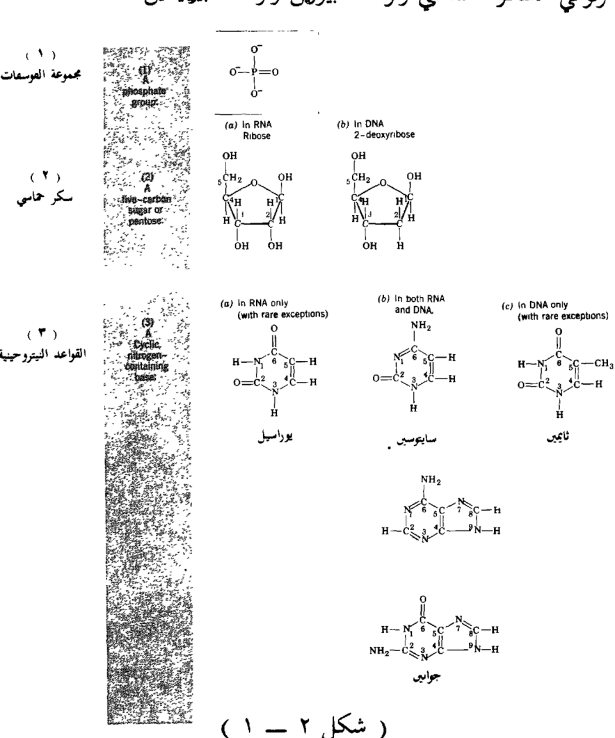
أ) **قواعد بيورين** (Purines) :

تتكون من حلقتين ومنها أدينين (Adenine) وجوانين (Guanine) وهاتان توجدان في نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) .

ب) قواعد بيريميدين (Pyrimidines) :

تتكون من حلقة واحدة ومنها السيتوسين (Cytocin) وتوجد في نوعي الأحماض النووية ، والثايمين (Thymine) وتوجد في (DNA) فقط ، واليوراسيل (Uracil) وتوجد في (RNA) فقط .

والشكل (٢ ـــ ١) يوضح التركيب الجزيئي لمجموعة الفوسفات ونوعي السكر الخماسي وقواعد البيورين وقواعد البيريميدين .



(شكل ٢ ـــ ١)

وقواعد البيورين وقواعد البيريميدين يمكنها أن تكون روابط كيميائية مع السكر الخماسي ، وذلك عن طريق ذرة الكربون رقم (١) في السكر ، حيث ترتبط ذرة الكربون هذه بذرة النيتروجين في الموقع رقم (١) في قاعدة البيريميدين أو بذرة النيتروجين في الموقع رقم (٩) في قاعدة البيورين .

والجزيئات المكونة من السكر وإحدى القواعد النيتروجينية تعرف بالنيوكليوسيدات (Nucleosides) وترتبط كل نيوكليوسيد بمجموعة فوسفات لتكون النيوكليوتيد ، وهي الوحدة البنائية للأحماض النووية .

ولتكوين السلسة عديدة النيوكليوتيد ترتبط أزواج النيوكليوتيدات ببعضها بروابط فوسفاتية في الموقع (٣) في سكر إحدى النيوكليوتيدات والموقع (٥) للسكر في النيوكليوتيد المجاور ، وترتبط عدة نيوكليوتيدات بهذه الطريقة لتتكون سلسلة تتركب من سكر وفوسفات بالتبادل ، وتتصل بها جانبياً القواعد النيتروجينية التي تترتب كل منها فوق الأخرى بحيث تبعد كل واحدة عن التي تليها بمقدار ٣٫٤ أنجستروم .

شكل (٢ ــ ٢) يوضح ارتباط أزواج النيوكليوتيدات في (DNA)

ــ تركيب الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين (DNA) :

تبين من الدراسات على (DNA) أنه يمتاز بخاصيتين غاية في الأهمية هما :

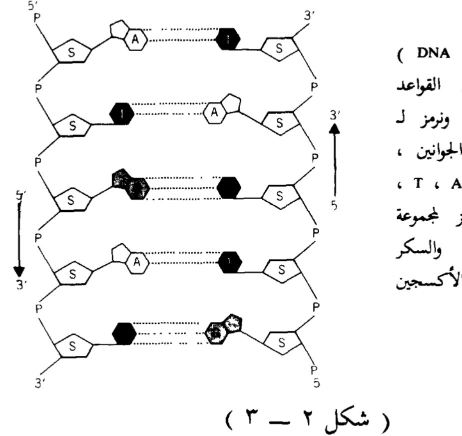
١ ــ وجود بعض القواعد النيتروجينية في (DNA) بكميات متساوية . فقد وجد إيروين شارجاف (Erwin Chargaff) ومساعدوه أن كمية الأدينين تساوي كمية الثايمين ، وكمية السيتوسين تساوي كمية الجوانين ، في أية عينة من عينات (DNA) .

٢ ــ اكتشفت الخاصية الثانية من خواص (DNA) بواسطة موريس ويلكنز (Maurice Wilkins) وروزالين فرانلكين (Rosalin Franklin) ومساعديهما في كلية كنجز في لندن ، وذلك أثناء دراستهم لألياف (DNA) معــزولة خارج الخلية ، وذلك باستعمالهم طرق انحراف الأشــعة السينية (X-ray diffraction) فقد لاحظوا أن نظم انحراف الأشعة السينية بعد مرورها من ألياف (DNA) تدل على أن هذه الألياف تحتوي على جزيئات ذات بناء حلزوني تتكون من وحدات منتظمة ومكررة .

وقد أمكن تحديد أبعاد الجزيء من نمط الصورة ، فمثلًا البعد بين كل وحدة والتي تليها في الجزيء ٣٫٤ أنجستروم ، وأما قطر الجزيء فهو ٢٠ أنجستروم .

وعلى أساس هذه الدراسات اقترح جيمس واطسون (James Watspn) وفرانسيــس كريك (Francis Crik) نموذجاً لبناء (DNA) في الخلية يتلخص في أن (DNA) يتكون من سلسلتين متعددة النيوكليوتيد ملتفتين حول بعضهما على شكل حلزون مزدوج (Double helix) ، بحيث أن القواعد النيتروجينية تظهر داخل الحلزون .

وتبين لهم كذلك أنه لتكوين حلزون مزدوج ثابت ، لابد أن يكون الأدينين في إحدى السلسلتين مقابلًا للثايمين في السلسلة الأخرى ، والجوانين مقابلًا للسيتوسين . وفي البناء الجزيئي لكل من الأدينين والثايمين يعطي الفرصة لتكوين رابطتين هيدورجينيتين بينهما . كما أن السيتوسين والجوانين تتكون بينهما ثلاثة روابط هيدوجينية (شكل ٢ ـــ ٣) .



التركيب الجزيئي لـ (DNA) موضحا الروابط بين القواعد النيتروجينية المتقابلة ، ونرمز لـ الأدنين ، الثايمين ، الجوانين ، السايتوسين ، بالرموز A ، T ، G ، C . كما نرمز لمجموعة الفوسفات بالرمز P والسكر الرايبوزي منقوص الأكسجين بالرمز S .

(شكل ٢ ـــ ٣)

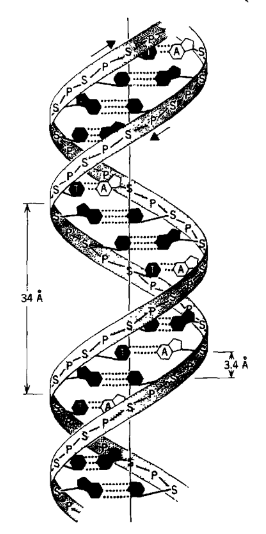
ورغم أن هذه الروابط الهيدوجينية ضعيفة نسبياً إلا أن عددها الكبير يجعل السلسلتين مثبتتين معا بحيث يصبح (DNA) جزيئاً مستقراً .

وعلى أساس هذا الفرض الخاص بجزيء (DNA) المزدوج التركيب الذي يحتوي على الأدينين مقابلًا الثايمين وكذلك الجوانين مقابلًا السيتوسين بدأ واطسون وكريك محاولة بناء نموذج لجزيء (DNA) ذو قطر ثابت مقداره (٢٠) انجستروم على طول الجزيء .

وفي هذه المحاولة وجدا أنه إذا تقابلت قاعدتان من البيورين فإن الحلزون المزدوج بقطر (٢٠) انجستروم لا يتسع لهما ، كما أنه إذا تقابلت قاعدتان من البيريميدين فإنهما تصبحان بعيدتان عن بعضهما داخل الحلزون بحيث أن الروابط الهيدروجينية لا يمكنها أن تتكون بينهما .

وبتجربة كل التواليف الممكنة من أزواج القواعد النيتروجينية اتضح أن الأزواج (أدينين ــ ثايمين) ، (سيتوسين ــ جوانين) هي التواليف الوحيدة التي يمكن أن ينتج عنها حلزونا مزدوجاً ثابتاً ذو أبعاد جزيئية تطابق المسافة داخل الحلزون المزدوج وهي (٢٠) انجستروم .

ولذا تعرف القاعدتان (أدينين ــ ثايمين) بأنهما متكاملتان وتكون (سيتوسين ــ جوانين) متكاملتان كذلك .



(شكل ٢ ــ ٤) نموذج واطسون وكريك لجزيء (DNA)

ولوحظ أنه توجد عشرة أزواج من القواعد النيتروجينية لكل لفة كاملة من لفات الحلزون المزدوج ، والمسافة بين كل قاعدة والتي تليها في السلسلة متعددة النيوكليوتيد هي ٣٫٤ انجستروم ، وبهذا فإن الحلزون المزدوج يعمل لفة كل ٣٤ انجستروم وهذه هي المسافة التي وجدها ويلكنز (Wilkins) بين كل نظام متكرر والذي يليه في الجزيء .

ربط بناء (DNA) بالشروط الواجب توافرها في المادة الوراثية

أولًا : (DNA) كحامل للمعلومات الوراثية :

كما ذكرنا سابقاً فإن أول الشروط الواجب توافرها في المادة الوراثية هي قدرتها على حمل المعلومات الوراثية ، والتركيب الجزيئي المقترح لـ (DNA) يوضح قدرته على حمل المعلومات الوراثية على هيئة شيفرة وراثية (Genetic Code) وذلك عن طريق تتابع القواعد النيتروجينية على طول السلسلة عديدة النيوكليوتيد أي أن القواعد النيتروجينية الأربعة تعمل كحروف في شيفرة تترجم بعد ذلك إلى بروتينات معينة .

وأثبتت تجارب شارجاف تساوي كمية (A) مع كمية (T) وتساوي كمية (G) مع كمية (C) .

ولو قارنا أنماطاً مختلفة من الخلايا من نوع واحد من الكائنات الحية ، مثال ذلك خلايا الكبد والغدة الدرقية والبويضات في الانسان نجد أنها كلها تحتوي على نفس قيمة النسبة A + T / G + C مما يدل على أنها كلها تحتوي على نفس المعلومات الوراثية .

ويجب أن نفرق بين خاصية تتابع النيوكليوتيدات في جزيء (DNA) وخاصية المحتوى النيوكليوتيدي لهذا الجزيء . فقد يكون المحتوى النيوكليوتيدي

متماثلًا في نوعين من الكائنات الحية ، إلا أن هذا لا يعني بالضرورة أن تتابع النيوكليوتيدات متماثلًا في (DNA) في هذين النوعين .

ثانيـاً : تضـــــاعف (DNA) :

إن نموذج الحلزون المزدوج لـ (DNA) يضمن تضاعفه ذاتياً بحيث ينتج مثيله تماماً ، وهذا هو الشرط الثاني الواجب توافره في المادة الوراثية . (وسوف ندرس تضاعف DNA فيما بعد) .

ثالثـاً : التعبير عن المعلومات الوراثية :

يجب أن تكون المادة الوراثية قادرة على التعبير عن المعلومات الوراثية التي تحملها على صورة شيفرة . أي أن هذه المعلومات المخزونة ــ يجب أن تترجم إلى مختلف العمليات الحيوية مثل النمو والتمايز .

وتتابع النيوكليوتيدات في جزيء (DNA) يمكن أن يترجم إلى تتابع من الأحماض الأمينية في بروتين ما (كما سنرى فيما بعد) .

رابعـاً : القـدرة على التغـير :

من خلال نموذج واطسون وكريك نجد أنه من السهل أن نتصور عملية الطفرة عن طريق حدوث تعديل ولو طفيف في تتابع النيوكليوتيدات ، حيث أن هذا التعديل يؤدي إلى حدوث تغيير في المعلومات الوراثية المحمولة في جزيء (DNA) ، وتكون النتيجة هو حدوث تغيير في جزء ما من بناء الخليـة .

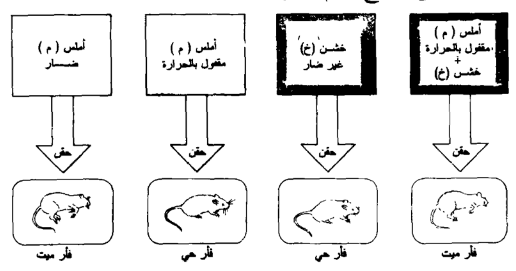
الأدلة على أن (DNA) هو مادة الوراثة :

هناك عدد من الأدلة التجريبية والتي تثبت قدرة (DNA) على حمل المعلومات الوراثية . وفيما يلي بعض هذه الأدلة :

١ ـ التحول البكتيري (Bacterial transformation) :

اكتشف فردريك جرفت (Frederich Griffith) عام ١٩٢٨م تحول البكتيريا من نوع إلى آخر ، لقد بحث في بكتيريا النيمونيا (Pneumococcus) التي تسبب مرض الإلتهاب الرئوي في الانسان ، وعند حقن الفئران أيضاً ببيئة هذه البكتيريا المرضية فإنها تمرض وتموت . وفي بكتيريا النيمونيا توجد كبسولة من السكر العديد التسكر (Poly Saccharide) تحيط بكل خلية مرضية ، ولكن الطفرة قد تؤدي إلى خلايا غير مرضية بدون كبسولة . وعند زرع هذه البكتيريا على أطباق تحتوي على الآجار تكون الأنواع المرضية مستعمرات ملساء (م) والأنواع غير المرضية مستعمرات خشنة الملس (خ) .

ولقد وجد جرفت أن النوع الحي من البكتيريا (م) يؤدي إلى مرض مميت في الفئران ، ولم يسبب النوع (م) المقتول بالحرارة ولا النوع (خ) من البكتيريا أي تأثير يذكر . ووجد جرفت أيضاً أن الحقن بالنوع (م) الميت والنوع (خ) الحي أدى إلى موت الفئران ، علاوة على ظهور بكتيريا النيمونيا الحية من النوع (م) في الفئران الميتة .



الشكل (٢ ـ ٥) : تجربة جريفت الخاصة بتحويل المادة الوراثية . النوع (خ) الحي ، والنوع (م) الميت من البكتريا ، كلاهما غير ضار بمفرده ، وأثبت أنهما مميتان إذا حقنا معا . تم بواسطة عامل ما من النوع (م) الميت تحويل النوع (خ) الغير الضار عادة إلى نوع (م) الضار .

(شكل ٢ ـ ٥)

وأظهرت التجارب أنه ليس باستطاعة النوع (م) المقتول بالحرارة وحده ولا النوع (خ) الحي وحده إعطاء النوع (م) الحي .

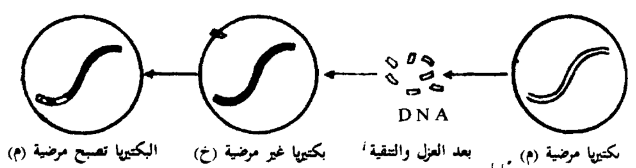
ـ استنتج جرفت أن المادة الوراثية من البكتيريا المقتولة بالحرارة قد اندمجت في الخلايا الحية للنوع (خ) مما أدى إلى تحويلها إلى البكتيريا المرضية (م) وبعد إجراء تعديلات على الطريقة لحدوث التحول في بيئات الكائنات الدقيقة المخبرية وفي الحيوانات الحية وجد أنه باستطاعة المادة اللاخلوية المستخلصة من البكتيريا إحداث التحول أيضاً .

وتزايد عدد البكتيريا المحولة من نوع البكتيريا الميتة إلى البكتيريا المرضية دون تغير في النوع ، يدل على أن هذا التحول تغير وراثي . وقد عرفت المادة المحولة في عام ١٩٤٤م ولم تكن معروفة قبل ذلك . ففي تلك السنة ظهر اكتشاف أزوالد أفيري . وكولش ماكلويد . وماكلين مسك كاي الذي أذهل المختبرات العلمية ، وكشف للمرة الأولى عن الدور الرئيسي للحامض النووي في الوراثة .

فقد أظهرت بحوثهم أن إضافة أنزيم خاص ـ يؤثر في الحامض النووي إلى البكتيريا المرضية (م) يوقف عملية التحول فاستنتجوا أن جزيئات (DNA) لها دور فعال في عملية التحول ، وللتأكد من ذلك عمدوا إلى استخراج (DNA) من البكتيريا المقتولة (م) وأضافوا قليلًا منه إلى البكتيريا (خ) فتحولت هذه إلى البكتيريا المرضية (م) .

ومعنى هذا أن بعض جزيئات (DNA) والتي مصدرها البكتيريا المرضية (م) اندمجت مع كروموسومات البكتيريا من النوع (خ) وحلت

محل جزيئات مشابهة ويوضح (الشكل ٢ ــ ٦) ذلك . وهكذا تأكد العلماء أن مادة الوراثة هي (DNA) .

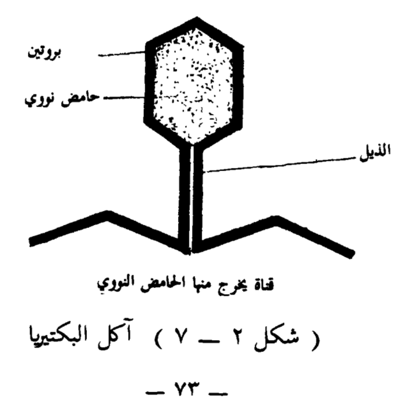


شكل (٢ ــ ٦) شكل تخطيطي لتجربة تبين دور DNA في المادة الوراثية

٢ ــ الفيروســـــات :

قام العالمان الفـرد هـيرشي (Alfred D. Hershey) ومارثا شيس (Martha Chase) عام ١٩٥٢م بدراسة على نوع من الفيروس الذي يغزو بكتيريا القولون العضوية ، ويطلق على الفيروسات التي تتلف البكتيريا اسم آكل البكتيريا (Bacteriophage) .

ويحتوي آكل البكتيريا (شكل ٢ ــ ٧) كالفيروسات الأخرى ، على جزء مركزي من (DNA) مغلف بمركب بروتيني معقد نسبياً .

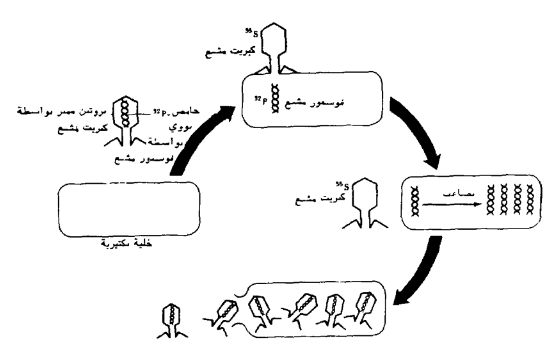


(شكل ٢ ــ ٧) آكل البكتيريا

يلتصق آكل البكتيريا بسطح الخلية بواسطة منطقة الالتصاق الموجودة في نهاية الذيل . وبعد الالتصاق بعدة دقائق تتمزق خلية البكتيريا مطلقة مئات من الفيروسات آكلة البكتيريا مطابقة لآكلات البكتيريا الأصلية ، ومن الواضح أن المادة الوراثية للفيروس آكل البكتيريا قد دخلت خلية البكتيريا وأنتجت آكلات بكتيريا جديدة . ووجد أن مكونات الفيروس الداخل إلى خلية البكتيريا مطابق لمادته الوراثية .

ولقد استعمل هيرشي وشيس النظائر المشعة لتمييز وتتبع (DNA) وبروتين الفيروس خلال دورة النظائر . فقد استعمل الفوسفور المشع (^{32}P) لتمييز (DNA) وليس للبروتين لأن آكل البكتيريا لا يحتوي على فوسفور كما استعمل الكبريت المشع (^{35}S) لتمييز البروتين وليس (DNA) لأنه لا يحتوى على كبريت .

ولقد استعملت آكلات البكتيريا ذات البروتين و (DNA) المميزة بالنظائر المشعة لإصابة البكتيريا التي ينقصها جزيئات مشعة مميزة . وبعد مرور وقت كاف لالتصاق الفيروسات وانتقال موادها الوراثية تم مزج البيئة البكتيرية بواسطة خلاط لفصل البكتيريا عن مكونات الآكل التي بقيت ملتصقة بالجدار الخلوي الخارجي لخلية البكتيريا . ولقد أظهرت تحاليل مواد آكل البكتيريا خارج الخلايا أن الكبريت المشع (^{35}S) موجود والفوسفور المشع (^{32}P) موجود بكمية قليلة فقط . ولقد وجد عكس ذلك عند تحليل البكتيريا نفسها حيث يوجد الكبريت المشع (^{35}S) بكمية قليلة تكاد تكون معدومة ، ولكن معظم الفوسفور المشع (^{32}P) كان في الداخل ، وعليه فإن (DNA) هو مادة الوراثة .



الشكل (٢ ــ ٨) يتكاثر آكل البكتيريا بالسيطرة على مجموعات أنزيمات التمثيل الغذائي للبكتيريا التي يهاجمها بحيث يجعلها تنتج مئات من الفيروسات الجديدة . لقد ميز هيرشي وتشيس بروتين آكل البكتيريا بواسطة كبريت مشع والحامض النووي بواسطة فوسفور مشع ، فوجد أن الأخير هو الذي يدخل البكتيريا عندما يهاجمها آكل البكتيريا وهذا يبرهن على أن الحامض النووي هو المادة الوراثية .

تضاعف جزيء (DNA) :

للمحافظة على الصفات الموروثة يجب أن يكون للمادة الوراثية القدرة على التضاعف بنفسها عند انقسام الخلية . ونموذج (DNA) ذي السلسلتين المتكاملتين الذي وضعه واتسون وكريك له القدرة على التضاعف فإن تحطم الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد النيتروجينية يؤدي إلى انفصال السلسلتين إحداهما عن الأخرى . وكل سلسلة تملك التركيب الضروري لبناء سلسلة مكملة جديدة مطابقة للسلسلة التي انفصلت عنها . مثلاً : جزيء (DNA) الأصلي يحتوي على زوج من القواعد النيتروجينية جوانين ــ سيتوسين ، حيث أن جوانين في إحدى السلسلتين تتصل مع سيتوسين جديدة ، بينما سيتوسين القديمة تكتسب جوانين جديدة كشريك لها .

وكذلك الحال مع أدنين ـــ ثايمين ، حيث تكون كل منهما زوجاً جديداً مع مكملها وستكون النتيجة جزيئين من (DNA) مطابقة للجزيء الأصـــلي .

ويعرف هذا بالنموذج نصف المحافظ (Semiconservative) . وهناك احتمالان آخران لعملية التضاعف :

الأول : هو أن السلسلتين الجديدتين للجزيء قد تنفصلان عند تكوينهما عن السلسلتين القديمتين ويلتفان معا ليكونا جزيئاً جديداً ، وتنضم السلسلتان القديمتان ، وتكون النتيجة تَكَوُّن جزيء مكون من السلسلتين القديمتين وجزيء آخر مكون من السلسلتين الجديدتين . ويعرف هذا بالنموذج المحافظ (Conservative) .

الثاني : تتكسر السلاسل القديمة والجديدة خلال عملية التضاعف إلى أجزاء تترتب عشوائياً لتنتج مزيجاً من المادة القديمة والجديدة ويتكون جزيئين جديدين من (DNA) ويعرف هذا بالنموذج المشتت (Dispersive).

ولقد أجرى العالمان فرانكلين ستول (Franklin Stahl) وماثيو ميسيلسون (Mathue Meselson) عام ١٩٥٨م تجارب عدة لإثبات أي من النماذج الثلاث هو الذي يحدث عند تضاعف (DNA) فقد زرعا بكتيريا (E. Coli) في بيئة غذائية حيث كان نظير النيتروجين الثقيل (N^{15}) هو النظير الوحيد الموجود للنيتروجين ، وبعد ظهور عدة أجيال في وسط المزرعة الغذائية كانت المركبات النيتروجينية في البكتيريا بما فيها النيوكليوتيدات و (DNA) تحوي فقط نيتروجين (N^{15}) ، وبعد ذلك نقلت البكتيريا من هذه البيئة الغذائية وغسلت ثم وضعت في وسط جديد يحوي نيتروجين (N^{14}) كنظير وحيد للنيتروجين . ثم أخذت عينات من هذه البيئة

الغذائية خلال فترات منتظمة ثم أجري تحليل على كثافة النيتروجين الموجود في (DNA) .

ماذا يمكن أن يجد الباحثون بعد جيل واحد من البكتيريا ، أي بعد انقسام واحد للخلية وما يرافقه من تضاعف (DNA) ؟

إذا تضاعف (DNA) حسب النموذج المحافظ فإنه يكون جزيئات مكونة من سلسلتين قديمتين (ثقيلتين نتيجة وجود N^{15}) وجزيئات مكونة من سلسلتين جديدتين (خفيفتين نتيجة وجود N^{14}) .

أما إذا تضاعف (DNA) حسب النموذج نصف المحافظ فإنه يكون جزيئات مكونة من سلسلة قديمة (ثقيلة) وسلسلة جديدة (خفيفة) . ولقد وجد أن الحالة الأخيرة هي التي تحدث في الحقيقة .

وبعد نمو جيل واحد من البكتيريا كان هناك نوع واحد من (DNA) ولكن أقل كثافة من جزيء (DNA) الأصلي (N^{15}) وبعد الجيل الثاني وجد نوعان من (DNA) أحدهما خفيفاً يحوي فقط (N^{14}) وكثافة الآخر كانت متوسطة بين (DNA) الخفيف (N^{14}) و (DNA) الثقيل (N^{15}) ، وله نفس الكثافة الموجودة في نهاية الجيل الأول .

وجزيئات (DNA) الأخير كان نوعا هجيناً يحتوي على كميات متساوية من (N^{14}) و (N^{15}) .

ولقد جاءت جميع هذه الملاحظات مطابقة لفرضية النموذج نصف المحافظ لتضاعف (DNA) .

الحامض النووي الرايبوزي (RNA) :

تحتوي كل من النيوكليوتيدات المكونة لـ (RNA) على الأجزاء التالية :

أ) سكر خماسي هو سكر الرايبوز .
ب) مجموعة فوســــــفات .
جـ) إحدى القواعد النيتروجينية التالية :

أدنين ، جوانين ، سايتوسين ، يوراسيل .

ويتكون (RNA) من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات ذات ترتيب معين للقواعد النيتروجينية ، يتم بأمر من (DNA) . والوزن الجزيئي لـ (RNA) أقل بكثير من الوزن الجزيئي لـ (DNA) .

وتوجد ثلاثة أنواع من (RNA) هي :

أ) RNA الرسول : (Messenger RNA) (M - RNA) وهذا ينقل الشيفرة الوراثية من جزيء (DNA) في النواة إلى الرايبوسومات في السيتوبلازم.
ب) RNA الناقل : (Transfer RNA) (T - RNA) ويقوم بنقل الأحماض الأمينية أثناء عملية بناء البروتينات .
جـ) RNA الرايبوسومي (Ribosomal RNA) (R - RNA) . ويدخل في تركيب الرايبوسومات .

الأدلة على دور (RNA) كمادة وراثية في حالات خاصة :

ذكرنا أنه توجد بعض الفيروسات التي لا تحتوي على (RNA) ، وفي هذه الحالة يعتبر (RNA) هو مادة الوراثة . وفيما يلي هذه التجربة التي أثبتت قدرة (RNA) على حمل المعلومات الوراثية .

فيروســــــات (RNA) :

أجريت التجارب الأولى لدراسة دور (RNA) كمادة وراثية على فيروس يصيب نباتات الدخان ، وهو فيروس يتركب من حــوالي ٦ ٪ (RNA) والباقي بروتين .

وقد قام فرانكل (Frankle) وسنجر (Singer) عام ١٩٥٧م بفصل (RNA) عن البروتين في هذا الفيروس ، ووجدا أن (RNA) وحده يمكنه أن يحدث العدوى لنبات الدخان ، كما نتجت أفراد كاملة جديدة من الفيروس محاطة بغشائها البروتيني .

عمل الجينــــــات :

أصبح معلوماً لدينا الآن أن (DNA) هو المادة الوراثية ، وتنتقل المعلومات الوراثية بواسطة الجينات . وكل جين يحدد التركيب الخاص لبروتين معين هو غالباً أنزيم .

ويظهر أثر الأنزيم عند فحص التأثير الناتج عن غياب هذا الأنزيم . فإذا كان الأنزيم لا يعمل فإن المادة التي يعمل عليها ستتراكم وبالتالي فإن نتيجة التفاعل لا تتكون . ومع ذلك ، فالأنزيمات لا تعمل مستقلة بعضها عن بعض ، بل أن مجموعات الأنزيمات تترتب في متواليات حسب وظائفها ، وهذه المتواليات تشكل ما يسمى بمسالك التفاعل الحيوي (Metabolic pathways) بحيث تكون المادة الناتجة من تفاعل أنزيم معين هي المادة التي يعمل عليها الأنزيم الآخر . والقدرة على تخليق جزيء معين تعتمد على مدى إتمام بعض الخطوات بنجاح خلال الطريق الذي يسلكه التفاعل . وعند غياب أحد الأنزيمات عن طريق التفاعل فإن هذا التفاعل يتوقف ولا تتكون الجزيئات في هذا الطريق .

الجينـات والأنزيمـات :

إن الجينات تتحكم في تكوين الأنزيمات ولقد استخدم العالمان جورج بيدل وإدوارد تاتوم عفن الخبز الأحمر (Neurospora Crassa) للتأكد من صحة هذه الفرضية .

ويتميز هذا الفطر بتركيبه السهل وقصر دورة حياته (١٠ أيام) ، كما أنه في معظم دورة حياته يحتوي على العدد الفردي من الكروموسومات . بما أن كل خلية فيها جين واحد من كل مجموعة من الجينات التي تتحكم في صفة معينة ، فإن هذا الجين يظهر نفسه ، وكذلك يمكن تتبع تأثيرأي جين.

وينمو فطر نيوروسبورا بسهولة في أنابيب الاختبار على غذاء مكون من الآجار الذي يضاف إليه أملاح الأمونيا التي توفر له النيتروجين ، وسكر القصب الذي يوفر له الكربون ونوعاً واحداً من الفيتامينات هو البيوتين (ب ٦) وذلك لأن فطر نيوروسبورا قادراً على تخليق الفيتامينات الأخرى والأحماض الأمينية الضرورية لحياته ولتكاثره . ويمثل هذا الوسط الذي ينمو عليه الفطر الحد الأدنى من الأغذية اللازمة له ولذلك يسمى الوسط البسيط.

وقد احتاج بيدل وتاتوم في تجاربهما إلى سلالات من فطر النيوروسبورا فيها طفرات للتأكد من الفرضية التي تقول أن كل جين يتحكم بتكوين أنزيم. والطفرات التي تحدث تلقائياً نادرة الحدوث . لذلك بعد أن تم نمو الفطر عرضت جراثيمه (Spores) للاشعة السينية ، ثم وضعت هذه الجراثيم على آجار يحتوي على جميع الفيتامينات الضرورية وجميع الأحماض الأمينية وأملاح الأمونيوم وسكر القصب ويسمى هذا بالوسط الكامل ، فنمت الجراثيم وأعطت فطراً قادراً على إنتاج جراثيم جديدة .

وعند أخذ هذه الجراثيم الجديدة ووضع بعضها في وسط بسيط ، وبعضها في وسط كامل ، وبعضها الآخر في وسط بسيط يخلو من أي حامض أميني ومضاف إليه جميع الفيتامينات . وجد أن جميع الجراثيم التي وضعت في الأوساط الكاملة قد نمت وبعض الجراثيم التي وضعت في الوسط البسيط تمكنت من النمو ، أما الجراثيم التي وضعت في وسط بسيط يخلو من الحامض الأميني وتوفرت له جميع الفيتامينات ، لم تتمكن من النمو .

وقد استنتج العالمان بيدل وتاتوم من هذه التجارب أن الأشعة السينية قد أحدثت طفرات في فطر نيوروسبورا جعلتها عاجزة عن النمو إذا لم يتم إمدادها من الخارج بالأحماض الأمينية .

وكانت الخطوة التالية هي معرفة أي الأحماض الأمينية ضروري لنمو فطر النيوروسبورا هل تلزم جميعها ؟ أم أن عدداً أقل يفي بالغرض ؟

وللإجابة على هذا السؤال جهز العالمان عشرين أنبوبة اختبار جهزت بالوسط البسيط ، وأضيف إلى كل منها نوع واحد فقط من الأحماض الأمينية العشرين ، ثم وضع بكل أنبوبة بعض جراثيم فطر نيوروسبورا التي لا تنمو في الأوساط البسيطة الخالية من البروتين ولكنها تنمو في الأوساط الكاملة .

وكانت النتيجة أن الجراثيم نمت نمواً طبيعياً في أنبوب واحد فقط هو الذي يحتوي على الوسط البسيط مضافاً إليه الحامض الأميني المسمى (آرجنين) .

ومعنى هذا أن السلالة الطافرة أصبحت عاجزة عن تخليق الآرجنين ويطلق عليها سالبة الآرجنين ، أما السلالة الطبيعية فيطلق عليها موجبة الآرجنين لأنها تستطيع تكوينه . وإذا تم التزاوج بين هاتين السلالتين نتجت أفراد نصفها تقريباً موجب الآرجنين ونصفها الآخر سالب الآرجنين ، مما يدل على أن الطفرة أصابت جين واحد .

وقد استنتج العالمان أن تكوين الطفرة في جين يؤدي إلى زوال النشاط الأنزيمي . وفي هذه التجربة فإن زوال النشاط يعزى إلى فقدان الأنزيم الذي يسيطر على إنتاج الآرجنين .

وقد اكتشف بيدل وتاتوم أن بعض الجراثيم التي تتطلب إضافة الآرجنين إلى الوسط حتى تنمو ، يمكنها أن تنمو إذا أضيفت مواد أخرى مشابهة للآرجنين ، ومعنى هذا أن الجراثيم ليست كلها متماثلة الطفرة .

فبعضها يمكن أن ينمو فقط إذا أضيف الآرجنين ، وبعضها يمكن أن ينمو إذا أضيف الآرجنين أو السيترولين ، والبعض الآخر يمكن أن ينمو إذا أضيف الآرجنين أو الأورنيثين .

إن إعادة هذا النوع من التجارب مرات عديدة أظهرت علاقة جين واحد ـــ أنزيم واحد . وفي بعض الحالات يبدو أن عدة جينات ضرورية لإنتاج أنزيم واحد ، كما دلت دراسات أخرى على أن بعض الأنزيمات والبروتينات المحددة تتكون من سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد ، وكل سلسلة محددة بجين واحد . وعند معرفة هذا الشيء أعيد صياغة جين واحد ـــ أنزيم واحد ، إلى جين واحد ـــ عديد الببتيد واحد .

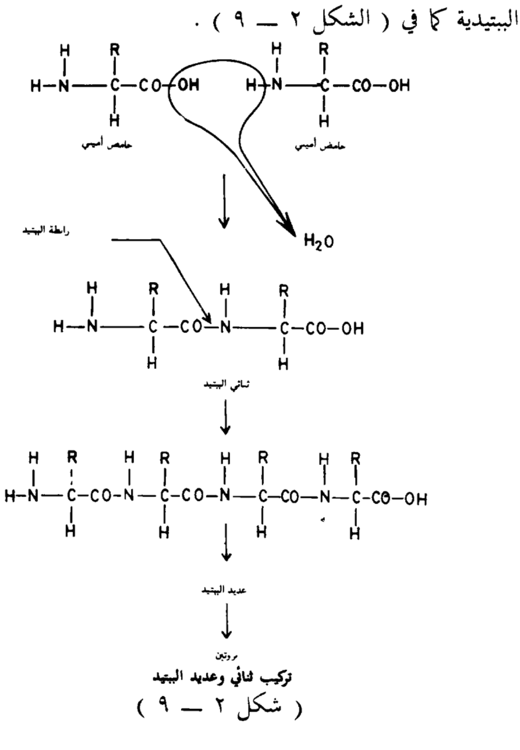
بناء البروتين والشيفرة الوراثية :

كيف يتحكم الجين بتكوين سلاسل عديد الببتيد ؟

تقوم الرايبوسومات بصنع البروتين ، وتعمل الجينات عمل سيد الخلية فتصدر أوامرها من النواة بدون مغادرتها . وتنفذ هذه الأوامر عن طريق رسل من (RNA) تقوم بحمل الأوامر لصنع أنزيمات للقيام بالعمليات الحيوية في الخلية . وهذه التعليمات هي الشيفرة الوراثية التي تمثل جملة وراثية لترجمة صفة الجين الوراثية .

وبما أن الجينات تتكون من (DNA) القادر على مضاعفة نفسه والمجهز بالشيفرة الوراثية ، إذن (DNA) يسيطر سيطرة تامة على الكائن الحي عن طريق قواعده النيتروجينية ، نوعها وطريقة تسلسلها ، والتي هي أدينين ، ثايمين ، سيتوسين ، وجوانين ، ومن هذه القواعد تتكون الرسالة الوراثية . تلك هي اللغة النووية على (DNA) .

وتتكون البروتينات من اتحاد الأحماض الأمينية عن طريق الروابط الببتيدية كما في (الشكل ٢ ـــ ٩) .



تركيب ثنائي وعديد الببتيد
(شكل ٢ ـــ ٩)

وتتوقف طبيعة البروتين على مقدار ونوع الأحماض الأمينية . وهناك عشرون حامضاً أمينياً تدخل في تركيب البروتينات ، وهذه هي اللغة البروتينية .

وقد أظهرت نتائج دراسات بيدل وتاتوم : (جين واحد ـــ عديد الببتيد) أن هناك توافقاً بين اللغة البروتينية واللغة النووية . فما هي الحلقة التي تربط اللغتين ؟

ولقد تم اكتشاف الوسيط الذي ينقل الرسائل الوراثية من (DNA) إلى الرايبوسوم وسمي الرسول (RNA) (Messenger RNA) ويكتب مختصراً (M - RNA) . كما تم اكتشاف الناقل (RNA) (Transfer RNA) ويكتب مختصراً (T - RNA) ويقوم بحمل الأحماض الأمينية في السيتوبلازم .

وقد استنتج العلماء نتيجة دراسات عديدة أنه لابد من وجود ثلاثة قواعد نيتروجينية (ثلاثة نيوكليوتيدات) على الأقل لتمثل كلمة من الشيفرة الوراثية وتعرف هذه باسم الكودون (Codon) .

وبهذا فإن عدد الثلاثيات التي يمكن تشكيلها من القواعد النيتروجينية الأربعة (T , A , C , G) هي :

$٤^٣$ = ٦٤ ثلاثية (Triplet) .

وقد تمكن العلماء من حل جميع الرموز الوراثية لجميع الأحماض الأمينية العشرين كما هو موضح في الشكل (٢ ـــ ١٠)

الحرف الثاني
SECOND LETTER

الحرف الأول FIRST LETTER	U	C	A	G	الحرف الثالث THIRD LETTER
U	UUU فنيل الانين Phe	UCU سرين Ser	UAU تروسين Tyr	UGU سستين Cys	U
	UUC	UCC	UAC	UGC	C
	UUA لوسين Leu	UCA	UAA	UGA ?	A
	UUG	UCG	UAG	UGG تربتوفان Tryp	G
C	CUU لوسين Leu	CCU برولين Pro	CAU His	CGU ارجنين Arg	U
	CUC	CCC	CAC	CGC	C
	CUA	CCA	CAA جلوتامين GluN	CGA	A
	CUG	CCG	CAG	CGG	G
A	AUU اسولوسين Ileu	ACU ثريونين Thr	AAU اسبرجين AspN	AGU سرين Ser	U
	AUC	ACC	AAC	AGC	C
	AUA	ACA	AAA لايسين Lys	AGA ارجنين Arg	A
	AUG مثيونين Met	ACG	AAG	AGG	G
G	GUU فالين Val	GCU الانين Ala	GAU اسبرتيك Asp	GGU جلايسين Gly	U
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	GUA	GCA	GAA جلوتاميك Glu	GGA	A
	GUG	GCG	GAG	GGG	G

شكل (٢ ــ ١٠) الشيفرة الوراثية التي تتكون من ٦٤ مجموعة ثلاثية وكل مجموعة تؤلف شيفرة حامض أميني معين كما وجدت في الناقل (RNA) .

وتوضح الخطوات التالية آلية الشيفرة الوراثية (Gonetic Code) حال تكوينها على جزيء (DNA) لغاية ترجمتها إلى بروتينات :

١ ــ تنفتح سلسلتا الجين التي هي جزيء (DNA) المتكون من نيوكليوتيدات ذات قواعد نيتروجينية متتابعة ، أي شيفرة لأنها تحمل تعليمات وراثية .

٢ ــ حال انفتاحها يتكون جزىء الرسول (RNA) الذي هو نسخة لسلسلة واحدة من (DNA) كما هو الحال في تضاعف (DNA) باستثناء أن القاعدة النيتروجينية اليوارسيل تقابل الأدينين بدلًا من الثايمين .

وتكوين الرسول (RNA) يحتاج إلى طاقة يستمدها من (ATP) بمساعدة أنزيم (RNA Polymerase) وجزىء الرسول (RNA) الذي يتكون من سلسلة واحدة تحتوي على جميع المعلومات الوراثية الموجودة في جزىء (DNA) وتسمى هذه العملية بالنسخ (Transcription) .

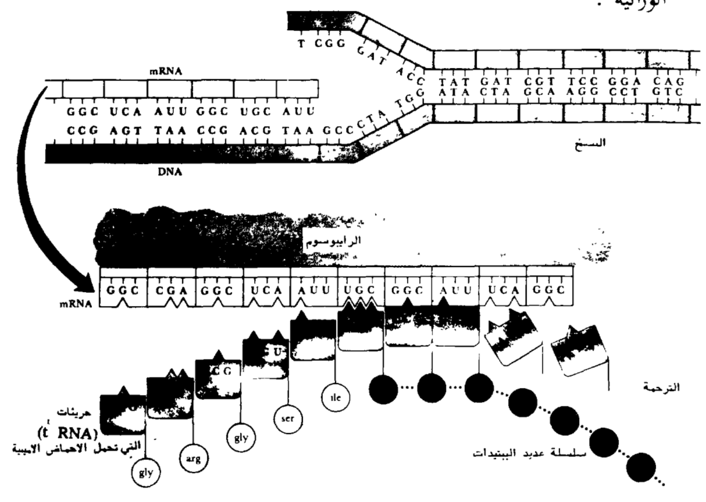
وغالباً ما يتم نسخ عدة جينات مع بعضها كوحدة واحدة ، وهذا ينتج جزيئاً طويلًا من الرسول (RNA) وبعدها تبدأ عملية الترجمة . (Translation) .

٣ ــ ينفصل الرسول (RNA) عن سلسلة (DNA) ثم يخترق النواة ويذهب إلى السيتوبلازم حيث يعمل كقالب لعملية صنع البروتين .

٤ ــ ويوجد في السيتوبلازم الناقل (RNA) الذي يحمل كل واحد منها حامضاً أمينياً .

٥ ــ يقوم الرسول (RNA) بتثبيت نفسه على الرايبوسوم ويتحرك كل ناقل (RNA) ليرتبط بالرسول (RNA) عن طريق القواعد النيتروجينية الثلاثية بحيث يكون الأدنين (A) مقابلًا اليوراسيل (u) والجوانين (G) مقابلًا السيتوسين (C) .

وبذلك تتجمع الأحماض الأمينية المحمولة على النواقل بتسلسل ونوع معين طبقاً لتسلسل القواعد النيتروجينية على الرسول أي طبقاً للشيفرة الوراثية .



(شكل ٢ ــ ١١) عملية بنــاء البروتين

الطفــرة الجينيــة (Gene mutation) :

يتصف جزيء (DNA) بالثبات وعدم التغير والرسالة الوراثية التي يحملها تنتقل إلى عدة أجيال دون تغير ، ولكن تحدث أحياناً تغيرات تلقائية في الجينات وتسمى هذه التغييرات المفاجئة « طفرات » . وهذه التغيرات موروثة لأن المادة الوراثية حدث فيها تغير . وتحدث الطفرات بطريق الصدفة إذ قد يتغير تسلسل وتتابع القواعد النيتروجينية ، وكمثال على هذا يمكن التحدث عن هيموجلوبين الدم في جين الخلية المنجلية ، فقد وجد أن

سلسلتين من سلاسل الهيموجلوبين تحمل فالين في نقطة معينة بدلًا من حامض الجلوتاميك الموجود في سلاسل الهيموجلوبين في الدم العادي . إن كودون (M - RNA) للفالين له قاعدة يوراسيل بينما لحامض الجلوتاميك قاعدة أدنين ، وبما أن تسلسل النيوكليوتيدات للجين متمم لذلك الموجود في (M - RNA) فإن التحول يكون بسبب إدخال أدينين بدلًا من ثايمين في نقطة واحدة على جزيء (DNA) ، إن هذا التبديل البسيط في موضع واحد للجين قد أدى إلى إنتاج هيموجلوبين جديد في الخلية المنجلية .

إن إضافة أو حذف نيوكليوتيد واحد قد يؤدي إلى تأثيرات خطرة على الجين المتأثر ، ففقدان أو كسب أي نيوكليوتيد يعني أن المنسوخ من ذلك الجين المعين سيؤدي إلى تسلسل مختلف تماماً للكودون عند نقطة التغيير ، فإذا نتج تغير في جزء منهم من عديد الببتيد فإنه لن يؤدي وظيفته العادية .

ويمكن زيادة حدوث الطفرات بواسطة طرق اصطناعية منها :

١ ـ الأشعة السينية :

لها قدرة كبيرة على إحداث تغيرات جينية .

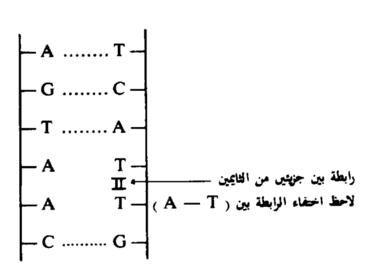
٢ ـ الأشعة الذرية :

٣ ـ التعريض لدرجات حرارة مرتفعة أو منخفضة

٤ ـ الأشعة فوق البنفسجية :

تؤثر على القواعد النيتروجينية وخصوصاً البريميدينات أي الثايمين والسيتوسين ، وتؤثر الأشعة فوق البنفسجية على السيتوسين وتحوله إلى مركب جديد يؤثر على تتابع القواعد النيتروجينية في جزيء (DNA) .

أما أثرها على الثايمين فإنها تكون روابط بين جزيئات الثايمين المتتابعة في السلسلة الواحدة ، وهذا يعمل على إيقاف عملية النسخ كما في شكل (٢ ــ ١٢) .



(شكل ٢ ــ ١٢)

٥ ــ مـواد كيميائيـــة :

ومن المواد الكيميائية حمض النيتروز الذي يتفاعل مع الأدنين فيتكون مركب جديد يسمى هيبوزانثين (Hypozanthine) يؤدي إلى تكوين (A - T) بدلًا من (G - C) أثناء تضاعف (DNA) .

والطفرات سواء كانت تلقائية أو اصطناعية تحدث بشكل عشوائي ، وليس من الممكن معرفة أي جين سيتأثر ، أو كيف سيتغير .

الفصل الثالث

الوراثة والجنس

Genetics & Sex

تمتاز أكثرية الكائنات الحية وخصوصاً الراقية بتمايز وانفصال الكروموسومات الجنسية عند الأفراد ، فنجد أن هناك الذكور والإناث والتي تتمايز فيما بينها بالعديد من الصفات والميزات الجنسية .

فما الذي يجعل الفرد ذكراً أم أنثى ؟

لقد تبين من خلال دراسة الكروموسومات الموجودة داخل الخلايا أن هناك مجموعة من الكروموسومات المتماثلة سواء عند الذكرِ أو الأنثى ، وتسمى هذه الكروموسومات الجسمية (Autosomes) وأعدادها دائماً مزدوجة (2 A) . إلا أن هناك زوجاً من الكروموسومات المتقابلة ولكنها متغايرة عند الجنسين ، وهذه الكروموسومات تدعى بالكروموسومات الجنسية .

وتحمل الكروموسومات الجنسية جينات تتحكم في كثير من الصفات غير الجنسية . فكيف يتم انتقال هذه الصفات عبر الأجيال ؟ وإلى أي حد يؤثر ارتباط هذه الصفات بالجنس في تطبيق قوانين مندل ؟

وكيف يمكن أن نفسر أن هناك صفات وخصائص لا توجد جيناتها على الكروموسومات الجنسية ولكن انتقالها من الآباء إلى الأبناء يتأثر إلى حد بعيد بالجنس ؟

تحديد الجنس (Sex determination) :

نظراً لوجود زوج من الكروموسومات الجنسية عند الذكور والإناث نستطيع أن نميز الأنماط التالية حسب توزيع هذه الكروموسومات :

أولًا : نمط ليغيوس (Lygaeus type) :

أونمط (XY , XX)

يتواجد هذا النمط في عديد من أنواع الحيوانات الثديية ومنها الانسان، وكذلك في حشرة الدروسوفيلا وفي بعض النباتات ثنائية المسكن .

وتكون الكروموسومات الجنسية عند الإناث متشابهة (XX) ومختلفة عند الذكور (XY) .

والكروموسومات عند الإناث هي (2A + XX) وهي تعطي نوعاً واحداً من الجاميتات (A + X) .

أما الكروموسومات عند الذكور فهي (2A + XY) وتعطي نوعين من الجاميتات المختلفة (A + Y) و (A + X) .

ثانياً : نمط بروتينـــور (Protenor type) :

أو نمط (XO , XX) .

يتواجد هذا النظام في معظم الديدان الثعبانية وبعض أنواع الفراش . وفيه تكون الاناث ذات تركيب كروموسومي جنسي (XX) وبالتالي فإنها تنتج نوعاً واحداً من الجاميتات (A + X) .

والتركيب الكروموسومي الجنسي في الذكور يكون (XO) ، أي أن الكروموسوم (Y) غائباً عند ذكور هذه الكائنات الحية ، وبالتالي فإنها تنتج نوعين من الجاميتات المختلفة هي :

(A + X) و (A) .

ثالثاً : نمط أبراكساس (Abraxas type) :

أو نمط (ZZ , ZW) .

يتواجد هذا النمط في الطيور والزواحف وبعض أنواع الفراش . وفي هذه الحالة الكروموسومات الجنسية المتشابهة موجودة لدى الذكور (ZZ) والمختلفة موجودة لدى الاناث (ZW) . ويعبر عن الكروموسومات الجنسية بهذا الرمز المختلف حتى لا يختلط هذا النمط مع النمطين السابقين .

فالمعادلة الكروموسومية للإناث هي (2A + ZW) وهي تعطي نوعين مختلفين من الجاميتات (A + W) و (A + Z) .

والمعادلة الكروموسومية للذكر فهي (2A + ZZ) وتعطي نوعاً واحداً من الجاميتات (A + Z) .

ومهما تعددت ظاهرياً أنماط التحديد الوراثي للجنس فهي تعود دائماً كمثال التلقيح الاختباري ، حيث يلعب الجنس مختلف الجاميتات (XY أو XO أو ZW) دور الجنس الهجين حامل الجين السائد ، بينما يلعب الجنس متماثل الجاميتات (XX أو ZZ) دور الجنس النقي حامل الجين المتنحي .

تحديد الجنس في ذبابة الخل :

إن العدد الزوجي للكروموسومات (2n) في ذبابة الخل هو ثمانية (٨) وكروموسومات الجنس هى (XX) في الإناث و (XY) في الذكور وقد نتجت أفراد متعددة المجموعة الكروموسومية سواء كانت ثلاثية المجموعة (3n) أو رباعية المجموعة (4n) .

ويتحدد جنس الفرد في ذبابة الخل على أساس نسبة كروموسومات الجنس (×) إلى عدد مجاميع الكروموسومات الجسيمة (A) . وذلك لأن

الجينات المحددة للذكورة موجودة على الكروموسومات الجسيمة (A) ، بينما الجينات المحددة للأنوثة موجودة على كروموسوم الجنس (×) . وليس لكروموسوم (Y) وظيفة في تحديد جنس الفرد ، حيث أن كلًا من التركيبين (AXXY) و (AAXO) يكونان ذكوراً من حيث صفات الشكل المظهري ولكن نظراً لأن التركيب الكروموسومي (AAXO) يكون عقيماً فلابد من أن كروموسوم (Y) هو المسؤول عن الخصوبة في الذكر ، ومن ناحية أخرى فليس لكروموسوم (Y) أي تأثير في الاناث حيث أن التركيب الكروموسومي (AAXXY) يعطي إناثاً عادية خصبة تماماً .

ويتضح من ذلك أن الرأي القديم القائل بأن وجود زوج من كروموسومات الجنس (XX) في الزيجوت يجعله أنثى لم يعد دقيقاً .

ولكن ما يهم في تحديد الجنس عند ذبابة الخل هو التوازن الوراثي فيما بين الكروموسومات الجنسية (×) ، وعدد مجاميع الكروموسومات الجسيمة (A) .

أي $\frac{\text{عدد } (\times)}{\text{عدد مجاميع } (A)}$

وعلى ذلك : إذا كانت نسبة $\frac{X}{A}$ = ١ فالفرد أنثى

وإذا كانت نسبة $\frac{X}{A}$ = $\frac{١}{٢}$ فالفرد ذكر

وإذا كانت نسبة $\frac{X}{A}$ أكبر من ١ فإنها تعطي أفراداً شاذة هي فائقة الأنوثة (Metafemales) .

وإذا كانت نسبة $\frac{X}{A}$ أصغر من $\frac{١}{٢}$ فإنها تعطي أفراداً شاذة هي فائقة الذكورة (Metamales) .

وإذا كانت نسبة $\frac{X}{A}$ أصغر من ١ وأكبر من $\frac{١}{٢}$ فإنها

تعطي أفراداً وسطاً في صفاتها الخارجية بين الاناث والذكور وهي الأفراد بين الجنسية (Intersexes) .

وفي هذه الأفراد فإن الميل إلى الأنوثة يزداد كلما قربت النسبة من ١ ويزداد الميل إلى الذكورة كلما قربت النسبة من ½ .

والشكل (٣ — ١) يوضح النسبة بين عدد الكروموسومات الجنسية وعدد مجاميع الكروموسومات الجسمية وثم الجنس في ذبابة الخل .

عدد كروموسومات (X) وعدد مجاميع الكروموسومات الجمية (A)	نسبة $\frac{X}{A}$	الجنس
1X 2A	٠,٥	ذكر
2X 2A	١	أنثى
3X 2A	١,٥	أنثى فائقة الأنوثة (Meta female)
4X 3A	١,٣٣	أنثى فائقة الأنوثة (Meta female)
4X 4A	١	أنثى رباعية المجموعة (Tetraploid female)
3X 3A	١	أنثى ثلاثية المجموعة (Triploid female)
3X 4A	٠,٧٥	بين جنسية (Inter sex)
2X 3A	٠,٦٧	بين جنسية (Inter sex)
2X 4A	٠,٥	ذكر (Male)
1X 3A	٠,٣٣	ذكر فائق الذكورة (Metamale)

(شكل ٣ — ١)

٢ ــ تحديد الجنس في الانسان :

الذكر الطبيعي في الانسان يكون تركيبه بالنسبة لكروموسومات الجنس هو (XY) ، والأنثى الطبيعية يكون تركيبها بالنسبة لكروموسومات الجنس هو (XX) .

إن وجود كروموسوم (Y) واحد كاف لإظهار صفات التذكير على الفرد على الأقل في الأعضاء التناسلية الخارجية ، ويحدث ذلك حتى في الحالات التي يكون فيها الفرد عقيماً تماماً .

كما أن وجود كروموسوم (X) واحد أو أكثر يجعل الفرد في غياب كروموسوم (Y) أنثى من حيث الشكل المظهري ، ويحدث ذلك حتى في الحالات التي يكون فيها الفرد عقيماً .

معنى ذلك أن جينات التذكير في الانسان تحمل على كروموسوم (Y) وأن جينات التأنيث تحمل على كروموسوم (X) ، والدليل على ذلك أن الفرد الحامل للتركيب الكروموسومي (XXXXY) يكون ذكراً ولكن عقيماً ، والفرد الحامل للتركيب الكروموسومي (XO) يكون أنثى ولكن عقيمة .

أي يمكننا القول بأن الجنس في الانسان إنما يتحدد بناء على وجود كل من كروموسوم (X) وكروموسوم (Y) .

يتضح مما سبق أن الذكر في الانسان هو الذي يحمل الكروموسومات التي تحدد الجنس ، إذ يحمل الكروموسومين الجنسيين (XY) بينما كروموسومي الجنس في الأنثى (XX) . فالبويضة تحتوي على كروموسوم جنسي واحد (X) ، أما الحيوانات المنوية فيكون نصفها حاملًا للكروموسوم الجنسي (X) والنصف الآخر حاملًا للكروموسوم الجنسي (Y) .

ونجد أن قوانين مندل تنطبق على وراثة الجنس في الانسان ويمكن توضيح ذلك على أسس وراثية كالتالي :

التركيب الجيني لكروموسومات الجنس هي :

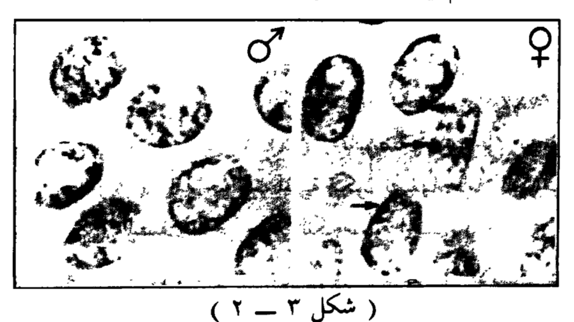
الأب	(XY) ×	الأم (XX)
الجاميتـــات	X , Y	X
الأفـــــراد	XY ,	XX

وعند اتحاد جاميتي الذكر والأنثى تكون احتمالات اجتماع كروموسوم جنسي (X) مع (X) لانتاج أنثى هي ٥٠٪ واحتمالات اجتماع كروموسوم جنسي (Y) مع (X) لإنتاج الذكر هي ٥٠٪ أيضاً .

الأجسام الكروماتينية الجنسية (Sex chromatin bodies) :

لاحظ العالم بـار (M. L. Barr) وجود أجسام كروماتينية في الخلايا العصبية لإناث القطط ، وعـدم وجـود مثل هـذه الأجسـام في خـلايا الذكـور .

وعند أخذ خلايا من نسيج معين كالنسيج الابثيلي المبطن للفم ، وصبغه ، يمكن ملاحظة جسم كروماتيني صغير في أنوية خلايا الأنثى ، وسمي هذا الجسم الصغير جسم بـار (Barr body) (شكل ٣ ــ ٢) ولم يظهر هذا الجسم في خلايا الذكور .



(شكل ٣ ــ ٢)

وبهذه الطريقة يمكن تحديد جنس الجنين في مراحل نموه الأولى . والأجسام الكروماتينية الجنسية (أجسام بار) لا تميز الأنثى العادية عن الذكر العادي فقط ، ولكنها مهمة أيضاً في تحديد الكروموسومات الجنسية غير الطبيعية في الانسان .

فعدد أجسام بار تساوي دائماً أقل بواحد من عدد كروموسومات (X) الموجودة في الخلية .

فخلايا الاناث غير الطبيعيات التي تحتوي على كروموسوم (X) واحد فقط ، لا تحتوي على جسم بار ، وخلايا الاناث التي تحتوي على ثلاثة كروموسومات (X) ، تحتوي على جسمين بار .

وخلايا الذكور التي تحتوي علىكروموسومين (X) وكروموسوم (Y) واحد ، تحتوي على جسم بار واحد .

٣ ـــ تحديد الجنس باختلاف عدد الكروموسومات :

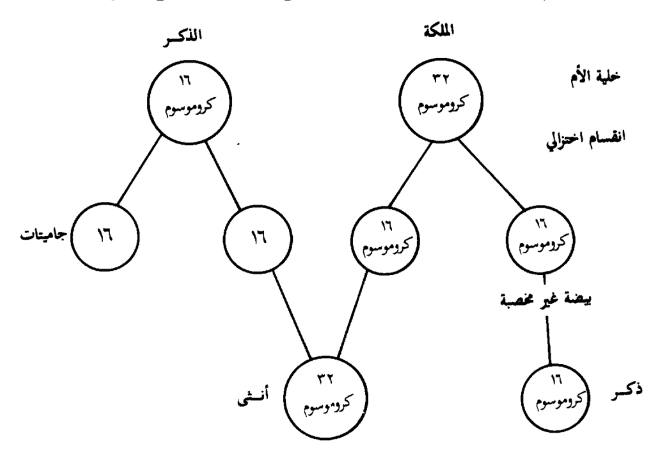
أ) تحديد الجنس في نحل العسل :

تحتوي خلايا نحل العسل على العدد الزوجي للكروموسومات وهو (٣٢) كروموسوم ، أما الذكور فتحتوي خلاياه على العدد الفردي وهو (١٦) كروموسوم .

فإذا وضعت الملكة بيضا مخصبا فإنه يفقس عن إناث .
أما إذا وضعت بيضا غير مخصبا فإنه يفقس عن ذكور .

وتسمى هذه بالتكاثر البكري (Parthenogenesis) .

ويتم تحديد الجنس في كل من النمل والدبابير بنفس الطريقة .



(شكل ٣ ـ ٤)

ب) تحديد الجنس في حشرة النطاط (الجندب) :

تحتوي خلايا الاناث على (٢٢) كروموسوما ، أما خلايا الذكور فتحتوي على (٢١) كروموسوما .

وتضع الأنثى بويضات متشابهة تحتوي كل منها على (١١) كروموسوما ، أما الذكر فينتج نوعين من الحيوانات المنوية ، نوعاً يحتوي على (١١) كروموسوم ، وآخر يحتوي على (١٠) كروموسومات .

فإذا أخصبت البويضة بحيوان منوي يحتوي على (١١) كروموسوم فإنها تفقس عن أنثى بها (٢٢) كروموسوم ، أما إذا أخصبت البويضة بحيوان منوي يحتوي على (١٠) كروموسومات ، فإنها تفقس عن ذكر به (٢١) كروموسوما .

٤ ــ البيئة وتحديد الجنس :

تفقس بيوض دودة البولينا عن يرقات ، ويتحدد جنس اليرقة حسب البيئة التي تنمو فيها .

فإذا عاشت اليرقة حرة في الماء فإنها تصبح أنثى . أما إذا دخلت جسم دودة أنثى بالغة فإنها تصبح ذكراً ، ولو أخرجنا الذكر من داخل جسم الأنثى وعاش حراً في الماء فإنه ينمو ويصبح أنثى . ويدل ذلك على أثر إفرازات بعض المواد من الأنثى تؤثر على جسم اليرقة

وراثة الصفات وعلاقاتها بالجنس :

إن الذكر في كل من ذبابة الخل والانسان يحمل كروموسوم (X) واحد وكروموسوم (Y) واحد ، في حين أن الاناث تحمل كروموسومين (XX) وتسمى هذه الكروموسومات الجنسية . وهي المسؤولة عن تحديد الجنس .

فإذا كانت كروموسومات الجنس هذه تحمل جينات أخرى تتحكم في بعض صفات الكائن الحي خلاف تحديد جنسه ، فإن هذا الاختلاف في التركيب الكروموسومي ما بين الذكور والإناث لابد وأن يؤدي إلى نظام وراثي خاص لهذه الصفات يختلف تمام الاختلاف عن الصفات التي تتواجد جيناتها على الكروموسومات الجسمية .

مثال ذلك أن الجينات التي تتواجد على كروموسوم (X) فقط وليس لها جينات مقابلة على كروموسوم (Y) ، هذه الجينات تتواجد في الاناث بصورة مزدوجة ، في حين أنها تتواجد في الذكور في صورة مفردة . ونتيجة لذلك فإن هذه الصفات تكون أكثر انتشاراً بين الذكور منها بين الاناث ، وبالنسبة لمثل هذه الجينات فإن الاناث قد تكون متماثلة (Homozygous) أو خليطة (Heterozygous) .

وتقسم الجينات التي لها علاقة بكروموسومات الجنس إلى ثلاثة أقســـام :

١ ــ الجينات الموجودة على كروموسوم (X) فقط وليس لها جينات مقابلة (أليلات) على كروموسوم (Y) وتعرف هذه الجينات بأنها مرتبطة بالجنس (Sex - Linked genes.) .

٢ ــ الجينات الموجودة على كروموسوم (Y) فقط وليس لها جينات على كروموسوم (X) وتظهر صفات هذه الجينات على الذكور فقط وتعرف مثل هذه الجينات أنها قاصرة على الذكور (Holandric genes) .

ومن أوضح الأمثلة على هذه الصفات هي نمو الشعر بغزارة على الأذن وهي منتشرة بين الهنود .

٣ ــ الجينات المحمولة على المناطق المتماثلة (Homologous Portions) في كل من كروموسوم (X) وكروموسوم (Y) وتعرف هذه الجينات بأنها مرتبطة جزئياً بالجنس . (Incompletely Sex - Linked) أو (Partially Sex - linked) .

وهناك أنواع أخرى من الجينات قد تكون محمولة على الكروموسومات الجسمية ، ولكن تأثيرها على الشكل المظهري يتوقف على جنس الفرد الموجود فيه التركيب الجيني ، وتنقسم هذه الأنواع إلى قسمين :

أ) الصفات المقتصرة على الجنس (Sex - limited genes) الصفة التي تتحكم فيها مثل هذه الجينات تكون قاصرة على جس واحد فقط ولا تظهر على الاطلاق في الجنس الآخر بالرغم من تواجد تركيبها الجيني في أفراده .

ب) الصفات المتأثرة بالجنس (Sex - influenced genes) وتتوقف هنا علاقة السيادة بين الجينين المتقابلين على جنس الفرد الموجود فيه التركيب الجيني .

وسوف نقتصر في دراستنا على الصفات المرتبطة بالجنس والصفات المتأثرة بالجنس .

الصفات المرتبطة بالجنس (Sex - Linkage Characters) :

إن الجينات المحمولة على كروموسوم الجنس (×) لاتتبع نفس النظام الذي تتبعه الجينات المحمولة على الكروموسومات الجسمية عند الانتقال من جيل إلى الجيل التالي .

ففي حالة الارتباط بالجنس ، فإن الجينات المحمولة على كروموسوم (×) لا يكون لها جينات مقابلة على كروموسوم (Y) ، وبالتالي فإن أي جين من هذه الجينات موجود في الأب لن يذهب إلى الأبناء الذكور بل سيذهب إلى البنات فقط ، وإذا كان هذا الجين متنحي فإن تأثيره لن يظهر في هؤلاء البنات إذا وصلهم الجين السائد من الأم .

وإذا كانت الأم تحمل في أحد كروموسومي (×) جينا متنحياً ، فإن هذا الجين المتنحي سيصل إلى نصف أبنائها الذكور وكذلك إلى نصف بناتها وسيظهر تأثيره في الذكور الذين يحملونه ولن يظهر تأثيره في البنات اللاتي يحملنه إذا وصل الجين السائد من الأب .

الارتباط بالجنس في ذبابة الخل :

اكتشفت أول حالات الارتباط بالجنس في ذبابة الخل عام ١٩١٠م عندما كان مورجان يجري تجاربه على هذه الحشرة ، ففي أثناء استخدامهم لسلالة من هذه الحشرة ذات عيون حمراء طبيعية ظهر لديهم ذكر أبيض العينين ، وكانت هذه صفة جديدة .

وعندما لقح هذا الذكر مع إناث عذراوات حمراء العيون ، ظهرت جميع الأفراد حمراء العيون ، مما دلهم على أن صفة العين البيضاء متنحية وصفة العين الحمراء سائدة .

وقد لاحظ مورجان أن مجاميع الشكل المظهري في الأفراد الناتجة تختلف في حالة ما إذا كان الأب هو أبيض العينين عما إذا كانت الأم هي بيضاء العينين والأب هو أحمر العينين . أي أن نتائج التلقيح تتوقف على جنس الأب الذي يحمل الصفة المتنحية ، بينما في جميع الصفات التي تكون جيناتها محمولة على كروموسومات جسمية فإن جنس الأب الذي يحمل الصفة المتنحية لم يكن يؤثر على النتائج في الأفراد .

وفيما يلي توضيح للتجارب التي أجراها مورجان بالنسبة لهذا الزوج من الصفات المختلفة .

١ ــ عند تلقيح ذكر أبيض العينين وأنثى حمراء العينين كان جميع أفراد الجيل الأول ذوي عيون حمراء ، ذكوراً وإناثاً .

وعند إجراء تلقيح بين أفراد الجيل الأول ، ظهرت في الجيل الثاني صفة العيون الحمراء وصفة العيون البيضاء ، وكانت نسبة مجموعتي الشكل المظهري ٣ عيون حمراء : ١ عيون بيضاء ، هذه النتيجة تدل على أن المتحكم في هاتين الصفتين زوج واحد من الجينات ، وأن جين اللون الأحمر سائد على جين اللون الأبيض ، وكان أيضاً من نتيجة هذه التجربة أنه بين

أفراد الجيل الثاني كانت جميع الإناث حمراء العيون ، في حين أن نصف الذكور عيونهم حمراء والنصف الآخر عيونهم بيضاء .

ولوحظ كذلك أن مجموعة الإناث حمراء العيون كانت تحتوي على تركيبين جينيين مختلفين ، حيث أن نصفهن أعطى في الجيل التالي أفراداً حمراء العيون فقط والنصف الآخر أعطى نسلًا كان نصف الذكور فيه ذوي عيون بيضاء .

٢ ـــ عند إجراء التلقيح الاختباري بين ذكر أحمر العينين وأنثى بيضاء العينين كانت النتائج مختلفة تماماً عما هو الحال في التلقيح السابق ، فأفراد الجيل الأول انعزلت إلى مجموعتي شكل مظهري ، كانت كل الإناث حمراء العيون ، وكل الذكور بيضاء العيون .

وعند تلقيح أفراد الجيل الأول ذاتياً للحصول على الجيل الثاني ، لوحظت نتيجة أخرى مخالفة حيث أن :

نصف الإناث كن حمراء العيون ونصفهن الآخر بيضاء العيون ، ونصف الذكور كانوا حمر العيون ونصفهم الآخر كانوا بيض العيون .

هذا وقد لاحظ مورجان وجود مجموعة أخرى من الصفات في ذبابة الخل تتبع في وراثتها نظام صفة لون العين ، والذي نلاحظ فيه أن الصفات تنتقل إلى الأجيال المتتالية بالتبادل بين الجنسين .

فإذا كان الأب الذكر يحمل الصفة المتنحية فإنها تنتقل إلى أحفاده الذكور عن طريق بناته وليس عن طريق أبنائه . وإذا كان الأب الذكر يحمل الصفة السائدة فإنها تنتقل إلى بناته في الجيل الأول مباشرة بينما تعطي الأم الصفة المتنحية للأبناء الذكور .

وتعرف هذه الحالة باسم الوراثة التصالبية (Reciprocal Crosses) حيث أن الصفة تظهر كما لو كانت تنتقل من جنس إلى الجنس الآخر أثناء انتقالها من جيل إلى الجيل التالي .

وإذا رجعنا إلى سلوك كروموسومات الجنس (X) فإن الأب يعطي بناته كروموسوم (X) ويعطي أبنائه كروموسوم (Y) فقط ، في حين أن الأم تعطي كروموسومات (X) لكل من البنات والأبناء .

من ذلك اتضح لمورجان أنه يمكن الربط بين سلوك كروموسومات الجنس وبين الجينات المتحكمة في صفة لون العيون ، كما يلي :

أ) افترض مورجان أن الجين المتحكم في لون العيون البيضاء محمول على كروموسوم (X) ، وحيث أن الأنثى هي الجنس المتماثل الجاميتات ، فإنها تحمل كروموسومي جنس (XX) ، فإذا كانت حمراء العينين فإنها قد تحمل أحد التركيبين :

(نرمز للون الأحمر بالرمز w^+ ، وللون الأبيض بالرمز w)

حمراء نقية ، تركيبها الجيني $X^{w^+} X^{w^+}$

حمراء هجينة تركيبها الجيني $X^{w^+} X^{w}$

أما إذا كانت بيضاء العينين فإن تركيبها الجيني لابد وأن يكون كما يلي : ($X^w \ X^w$)

ب) إن كروموسوم (Y) في الذكور لا يحمل جينات خاصة بلون العيون ، وبالتالي فإذا كان الذكر أحمر العينين فإن تركيبه الجيني يكون ($X^{w^+} Y$) وإذا كان الذكر أبيض العينين فإن تركيبه الجيني يكون ($X^w Y$) .

وإذا طبقنا هذه الفروض على التلقيحات السالفة الذكر نحصل على النتائج التالية :

أ) التهجين بين ذكر أبيض العينين وأنثى حمراء العينين نقية .

الآباء : الشكل المظهري ذكر أبيض العينين × أنثى حمراء العينين

التركيب الجيني $X^{w}Y$ X $X^{w^+}X^{w^+}$

الجاميتـــات X^{w} ، Y X^{w^+}

الجيـل الأول $X^{w^+}Y$ $X^{w^+}X^{w}$

ذكر أحمر العينين أنثى حمراء العينين

تلقيح أفراد الجيل الأول ذاتياً :

جاميتات الجيل الأول Y ، X^{w^+} ، X^{w} ، X^{w^+}

الجيـــل الثـــاني $X^{w^+}X^{w^+}$ ، $X^{w^+}Y$ ، $X^{w^+}X^{w}$ ، $X^{w}Y$

$X^{w}\ Y$ (ذكر أبيض العينين)

$X^{w^+}\ Y$ (ذكر أحمر العينين)

$X^{w^+}\ X^{w^+}$ (أنثى حمراء العينين) نقيـة

$X^{w^+}\ X^{w}$ (أنثى حمراء العينين) هجينة

ب) التهجين بين ذكر أحمر العينين وأنثى بيضاء العينين

الآبـــاء :

الشكل المظهري ذكر أحمر العينين × أنثى بيضاء العينين

التركيب الجيني $X^{w^+}\ Y$ X $X^{w}\ X^{w}$

الجاميتـــات X^{w^+} , Y X^{w}

الجيـل الأول $X^{w}Y$ $X^{w}\ X^{w^+}$

ذكر أبيض العينين أنثى حمراء العينين

تلقيح أفراد الجيل الأول ذاتياً :

جاميتات الجيل الأول X^w, Y X^w , X^{w+}

الجيـل الثـــاني $X^{w+}Y$, $X^{w+}X^w$, X^wY , X^wX^w

$X^{w+}Y$ ذكر أحمر العينين

X^wY ذكر أبيض العينين

$X^{w+}X^{w+}$ أنثى حمراء العينين هجينة

X^wX^w أنثى بيضاء العينين

الصفات المتأثرة بالجنس :

هناك حالات يعبر فيها التركيب الجيني عن نفسه بصور مختلفة في كل جنس من الجنسيين ، والمثال التالي يوضح ذلك .

وراثة القرون في الماشية :

هناك نوع من المواشي يدعى دورست (Dorset) يحمل كلًا من الذكر والأنثى قروناً بصورة نقية (HH) ، وهناك نوع آخر يدعى سفولك (Suffolk) لا يحمل الذكر أو الأنثى قروناً (hh) . وبالتلقيح بين أفراد من هذين النوعين ، يكون أفراد الجيل الأول ، الذكور تحمل قروناً والإناث لا تحمل قروناً ، مع ملاحظة أن الجنسين لهما نفس التركيب الجيني (Hh) . وبترك أفراد الجيل الأول تتزاوج ذاتياً ، فإنه يلاحظ بين أفراد الجيل الثاني الذكور النسب التالية :

٣ تحمل قروناً : ١ لا يحمل قروناً .

ويلاحظ بين أفراد الجيل الثاني الإناث النسب التالية :

٣ لا تحمل قروناً : ١ تحمل قروناً .

نلاحظ من دراسة هذه الصفة أن الجينات المتحكمة في هذه الصفة تنتقل بين الأجيال حسب قوانين مندل ، ولكن الجين المسؤول عن وجود القرون (H) يكون سائداً في الذكور بينما يكون متنحياً في الإناث .

أي أن هناك حاجة لجين واحد (H) فقط لظهور الشكل المظهري في الذكر . ولكن نفس الجين يجب أن يكون متماثلًا (HH) لظهور الشكل المظهري في الأنثى .

ويمكن توضيح التركيب الجيني والشكل المظهري للجنسين كالتالي :

التركيب الجيني	ذكور	إناث
H H	بقرون	بقرون
H h	بقرون	بدون قرون
h h	بدون قرون	بدون قرون

الفصل الرابع
الوراثة في الإنسان
Human Genetics

لا تختلف الوراثة في الانسان عنها في باقي الكائنات الحية ، فالأسس الوراثية وآلية التوريث هي واحدة تقريباً في جميع الكائنات الحية ، بما فيه الانسان . والانسان ليس مادة نموذجية للأبحاث الوراثية إذ أن هناك صعوبات تعيق دراسة الوراثة في الانسان منها ما يلي :

١ ــ لا يمكن التحكم في التزاوج في النوع البشري لأسباب دينية وأخلاقية واجتماعية .

٢ ــ طول عمر الانسان ، وهذا لا يتيح لباحث واحد أن يتتبع أكثر من بضعة أجيال .

٣ ــ طول فترة البلوغ ، من الصعب جداً إجراء تزاوجات بين أفراد النوع البشري قبل سن الرابعة عشرة على الأقل ، أي لابد للباحث أن ينتظر مدة طويلة حتى يصل سن البلوغ لإنتاج الخلايا التناسلية .

٤ ــ عدد الأفراد الناتجة قليل ، فالمرأة تلد مولوداً واحداً عادة ، وبذا يكون عدد أفراد الأسرة قليلًا غير كافٍ للدراسات الوراثية .

٥ ــ كثرة عدد الكروموسومات ، فالخلايا الجسدية تحتوي على ٤٦ كروموسوماً والخلايا التناسلية تحتوي على ٢٣ كروموسوماً وبالتالي يصعب على الباحث تتبع سلوك هذا العدد الكبير من الكروموسومات .

٦ ــ بعض الصفات الوراثية في الانسان يتحكم فيها أكثر من زوج واحد من الجينات كالطول ، ولون الجلد .

٧ ــ طول مدة الحمل ، إذ تبلغ حوالي تسعة أشهر ، وهذه مدة طويلة لدراسة أو متابعة الأبحاث الوراثية .

٨ ــ من الصعب وضع الانسان تحت اختبارات تجريبية كدراسة تأثير صفات معينة إذا ما قورن ذلك بكائنات حية أخرى . وعليه تعتمد الوراثة في الانسان على ملاحظة ظهور صفات في الأفراد ، ثم دراسة هذه الصفات في أقارب الفرد وفي أبنائه .

لذلك ترسم شجرة أسرة الفرد ويعين عليها الآباء والأبناء الذين تظهر فيهم هذه الصفات في كل جيل ونسب انتقال الصفة من الآباء إلى الأبناء ، ومن ذلك يستدل على القانون الوراثي الذي يخضع له توارث هذه الصفات ، كما أن دراسة التوائم تساعد على دراسة الصفات الوراثية في الانسان .

الصفات الوراثية في الانسان

(Inherited human Characteristic)

الصفات الوراثية في الانسان كثيرة جداً ومن الصعب حصرها ، وسنذكر بعضاً منها . ويمكن تقسيمها كما يلي :

أولًا : وراثة الصفات الجسمية

(Inheritance of physical Characters)

١ ــ لون الجلد : (Skin Colour)

يتفاوت لون الجلد حسب كمية صبغة الميلانين (Melanin) في الجلد وهناك على الأقل زوجين من الجينات تتحكم في كمية الصبغة دون أن يكون هناك سيطرة لجين على آخر ، أي أنها تتأثر بالجينات المتعددة ، حيث يوجد جينان مسؤولان عن إنتاج كمية من صبغة الميلانين السوداء في الجلد ونرمز لها بالرمزين (B , A) .

كما يوجد جينان آخران مسؤولان عن نقصان هذه الصبغة ولنرمز لهما بالرمزين (b , a) . وبناء على ذلك يكون التركيب الجيني للشخص الأسود الزنجي (AABB) .

أما الشخص الأبيض فيكون تركيبه الجيني (aabb) .

وإذا حصل تزاوج بين فرد أسود وآخر أبيض فيكون لون جلد أفراد الجيل الناتج وسطاً بين الأسود والأبيض وتركيب أفراده الجيني (AaBb) .

وإذا حصل تزاوج بين فردين لون جلدهم وسط ، فينتج أفراد تختلف في لون جلدها ويكون لها التراكيب الجينية المبينة في (شكل ٤ — ١) .

الآبـاء : الشكل المظهري لون الجلد وسط × لون الجلد وسط

التركيب الجيـنـي Aa Bb × Aa Bb

جاميتـــات AB , Ab , aB , ab

الآبـــاء

والجدول التالي يوضح أفراد الجيل الناتجة من التزاوج :

جاميتات مذكرة / جاميتات مؤنثة	A B	A b	a B	a b
AB	AABB أســود	AABb أعمق من الوسط	AaBB أعمق من الوسط	AaBb وســط
Ab	AABb أعمق من الوسط	AAbb وســط	AaBb وســط	Aabb أفتح من الوسط
aB	AaBB أعمق من الوسط	AaBb وســط	aaBB وســط	aaBb أفتح من الوسط
ab	AaBb وســط	Aabb أفتح من الوسط	aaBb أفتح من الوسط	aabb أبيــض

(شكل ٤ — ١)

ويمكن توضيح النتائج المبينة في (شكل ٤ ـــ ٢) كالتالي :

لون الجلد	التركيب الجيني	النسبة	عدد الجينات السائدة
أسود	AABB	١/١٦	٤
أغمق من الوسط	AABb	٤/١٦	٣
	AaBB		٣
وسط	AaBb	٦/١٦	٢
	AAbb		٢
	aaBB		
أفتح من الوسط	Aabb	٤/١٦	١
	aaBb		١
أبيض	aabb	١/١٦	صفر

(شكل ٤ ـــ ٢)

والجدير بالذكر أن صبغة الميلانين تتأثر بعوامل البيئة ، فالأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحارة ، نجد لون جلدهم أسمر أو يميل إلى السواد بينما سكان المناطق الباردة فيميل لون جلدهم إلى البياض ، ولهذا فإن انتقال شخص ذو جلد أبيض إلى مناطق حارة ، فتنتج كمية مناسبة من حبيبات الميلانين وتزداد سمرة لون الجلد .

٢ ـــ لون العيـــون : (Eye Colour) :

تحتوي عين الانسان على نسيج ملون يسمى القزحية ، وتتكون القزحية في العيون الزرقاء من طبقتين ، الخلفية بنية قاتمة ، والأمامية بيضاء

نصف شفافة . ويظهر اللون الأزرق للعين نتيجة رؤيتنا اللون القاتم من خلال الطبقة البيضاء نصف الشفافة ، ولكن العين في الواقع لا تحتوي على لون أزرق . أما العيون غير الزرقاء فتحتوي القزحية بالاضافة إلى الطبقتين السابقتين ، على طبقة أخرى سطحية بها صبغة ملونة قد تكون عسلية أو خضراء أو بنية أو سوداء . ويعتمد لون العين على كمية الصبغة الموجودة في الطبقة الثالثة . وبهذا فإن هناك عيوناً غير ملونة هي الزرقاء ، وعيوناً ملونة وهي غير الزرقاء .

وقد كان يظن أن زوج واحد من الجينات يتحكم في صفة لون العيون ، والجين المسؤول عن لون العيون الملونة هو السائد والجين المسؤول عن لون العيون غير الملونة (الزرقاء) هو المتنحي .

وعليه إذا تزوج رجل ذو عيون سوداء نقية امرأة ذات عيون زرقاء تكون عيون أولادهم سوداء .

وإذا تزوج شخصان لون عيونهما أزرق ، تكون عيون أولادهم زرقاء . وهذا ما نلاحظه في أغلب الحالات .

إلا أن هناك حالات عديدة تشذ عما افترضناه آنفاً ، إذ قد ينجب فردان ذو عيون زرقاء طفلًا ذا عيون بنية ، وهذا مستحيل لو كانت زرقة العين صفة متنحية ، كما أن انتشار لون العيون الزرق في عدد كبير من الناس في أقوام مختلفة لا يتماشى مع انتقال صفة متنحية .

وهذا يدل على أن أكثر من زوج من الجينات تشترك في تحديد هذه الصفة أي أن لون العيون متعدد الجينات ومع كل ذلك يسود اللون الداكن في كل الحالات على اللون الفاتح .

٣ ـ الطـــــول : (Tallness) :

يحدد الطول في الانسان عدد كبير نسبياً من الجينات ، ويعتقد وجود جينات خاصة بالطول وجينات خاصة بالقصر ، وعليه يتحدد طول الانسان حسب نسبة وجود جينات الطول وجينات القصر في تركيبه الوراثي .

ولو كان هناك زوج واحد من الجينات يتحكم في صفة الطول لوجدنا الناس إما طوالًا أو قصاراً كما في نبات البازيلاء ، كما أن صفة الطول لا تتوقف على طول القامة فقط . بل هناك طول الذراعين وطول الساقين ، بالاضافة إلى عوامل أخرى تؤثر على الطول كالغذاء وهرمونات الغدة النخامية (هرمون النمو) وهرمون الغدة الدرقية كما في نقص هرمون الثيروكسين الذي يسبب القزمنة مثلًا .

٤ ـ ثني اللســـــان : (Tonguerolling) :

وهي مقدرة الفرد على ثني اللسان على شكل (U) وصفة ثني اللسان سائدة على صفة عدم المقدرة على ثني اللسان . فقد وجد أن حوالي ٧٠٪ من الناس عندهم المقدرة على ثني ألسنتهم .

ويتحكم بهذه الصفة زوج واحد من الجينات .

٥ ـ انحناء اصبع الإبهام : (Bent - thumb) :

وهي قدرة الشخص على احناء المفصل البعيد للأصبع الأول (الإبهام) إلى الخلف وهي صفة متنحية .

ويمكن ثني إبهام اليد اليمنى ولا تستطيع ذلك اليد اليسرى أو العكس . ويتحكم بهذه الصفة زوج واحد من الجينات .

٦ ــ انحناء الأصبع الصغير (الخنصر) : (Bent Little Finger) :

ضع يديك منبسطة أمامك على الطاولة . هل تشاهد انحناء المفصل الأخير للأصبع الصغير للداخل باتجاه الأصبع الرابع أم هل هو مستقيم ؟ تدل الدراسات الوراثية أن انحناء المفصل الأخير للأصبع الصغير للداخل باتجاه الأصبع الرابع صفة سائدة ويتحكم بهذه الصفة زوج واحد من الجينات .

٧ ــ شــــحمة الأذن : (Ear Lobe) :

شحمة الأذن إما أن تكون حرة (Free) أو ملتصقة (Attached) وصفة شحمة الأذن الحرة سائدة على صفة شحمة الأذن الملتصقة . ويتحكم في هذه الصفة زوج واحد من الجينات .

٨ ــ تشابك أصابع اليدين : (Interlocking Fingers) :

حاول أن تشبك أصابع يديك بعضها ببعض ، هل الإبهام الأيسر فوق الأيمن أو العكس ؟

عند شبك أصابع اليدين عند معظم الناس ، فإنهم يضعون الإبهام الأيسر فوق الإبهام الأيمن ، ولهذا فإن وضع الإبهام الأيسر فوق الإبهام الأيمن هي الصفة السائدة ويتحكم في هذه الصفة زوج واحد من الجينات .

٩ ــ قمــة الأرمــــلة (Widow's Peak) :

صفة يكون فيها شعر الرأس منحدراً أو نازلًا إلى أسفل الجبهة لدرجة أنه يشكل حافة أو قمـة في مركز جبهة الرأس .

وهي صفة سائدة ويتحكم في هذه الصفة زوج واحد من الجينات .



بعض الصفات الوراثية في الانسان

أ) ثني اللســـان ب) قمة الأرملة

جـ) انحناء أصبع الابهام د) شحمة الأذن

(شكل ٤ ــ ٣)

١٠ ــ شعر السلاميات الوسطى لأصابع اليد (Mid - digital hair) :

يوجد عند كثير من الناس شعر على السلاميات الوسطى لأصابع اليد . وهذه صفة وراثية سائدة .

وتشير معظم الدراسات إلى أن هذه الصفة تقع تحت تأثير أكثر من زوج من الجينات ولهذا نجد أن بعض سلاميات الأصابع عليها شعر بينما تخلو الباقية من الشعر ، فقد يوجد الشعر على سلامية أصبع واحد (M_1) أو سلامية أصبعين (M_2) أو ثلاث سلاميات (M_3) ... وهكذا .

١١ ـ تذوق مـادة P.T.C. (Phenylthiocarbamide tasting) :

إن هذه المادة غير ضارة لذا يمكن تذوقها دون أي خوف . وقد وجد أن معظم الناس لهم القدرة على تذوق هذه المادة بينما وجد أفراد آخرون لا يمكنهم تذوق مرارة هذه المادة . وهي صفة سائدة يتحكم بها زوج واحد من الجينات .

١٢ ـ المهقـــة (الاغراب) (Albinism) :

المهق فرد ذو بشرة بيضاء وردية اللون وشعر أبيض أشعث وعيون دموية اللون ، وهي صفة متنحية يتحكم بها زوج واحد من الجينات .

ثانيـاً : وراثـة الصـفات المرتبطـة بالجنس :

(Inheritance of Sex-Linked Characters)

بعض الصفات المرتبطة بالجنس :

١ ـ صفة عمي الألوان الأحمر ـ الأخضر :

(Red - green Colour blindness)

إن بعض الأشخاص لا يستطيعون تمييز اللون الأخضر من اللون الأحمر ، ويحدث في ٠٨ر٠ من كل الذكور البيض بينما يحدث في ٠٠٥ر٠ من كل الإناث .

وتقع هذه الصفة تحت تأثير جين متنحي محمول على الكروموسوم الجنسي (X). وبما أن الأنثى تحوي في خلاياها كروموسومي الجنس (XX) فإنه يمكن أن يوجد بها جينا عمى الألوان . وبذلك تكون أنثى مصابة . وفي حالة وجود الجين المسبب لعمى الألوان على كروموسوم واحد من

كروموسومي الجنس معنى ذلك أن الكروموسوم (×) الآخر يحمل الجين المميز للألوان وهو جين سائد ، ولذلك فإن هذه الأنثى لا تصاب بالمرض وتعتبر فقط حاملة (Carrier) له. والذكر الذي يحمل الجين المسبب لعمى الألوان على كروموسوم (×) فهو مصاب ، حيث أن الكروموسوم (Y) لا يحمل جيناً لهذه الصفة ، فيظهر تأثير الجين المتنحي على الشكل المظهري بالرغم من وجوده في حالة مفردة .

وهذه التراكيب الجينية :

١ ــ ذكر عـــادي X Y

٢ ــ ذكر مصـــاب X̲ Y حيث X̲ يرمز للكروموسوم المصاب

٣ ــ أنثى عاديـــة X X

٤ ــ أنثى حاملةللمرض X̲ X

٥ ــ أنثى مصـــابة X̲ X̲

مثـــال :

إذا تزوج رجل مصاب بعمى الألوان بامرأة حاملة للمرض نفسه ، فما هي الحالات الممكنة للأبنـاء .

الحـــل :

الأبـــوان	X̲ X	X	X̲Y	
الجاميتـــات	X̲ ، X		X̲ ، Y	
الأبنـــاء	XY	X̲Y	X̲ X	X̲ X̲
	ذكر عادي	ذكر مصاب	أنثى حاملة للمرض	أنثى مصابة

.. الاحتمالات الممكنة في الأبناء هي :

اذكر عادي : ١ ذكر مصاب : ١ أنثى حاملة للمرض : ١ أنثى مصابة

٢ ــ نزف الدم : (Hemophelia) :

هـذه الصفة حالة مرضية تتميز بعدم قـدرة دم المصاب على التجلط (Clotting) نتيجة لنقص مادة الثرومبوبلاستين (Thrompoblastin) اللازمة لحدوث عملية التجلط .

وتكاد تكون هذه الصفة قاصرة على الذكور فقط .

أما الإناث فتنقل هذا المرض دون أن يصبن به .

والجين المسؤول عن نزف الدم متنحي وموجود على كروموسوم (X) .

وتتوارث هذه الصفة بنفس طريقة عمى الألوان .

مثـــال :

إذا تزوج رجل عادي بامرأة ناقلة لمرض نزف الدم فما هي الحالات الممكنة لأبنائهما ؟

الحـــل :

الأبـــوان

التركيب الجيـني : $\underline{X}$ X × XY

الجاميتـــات : $\underline{X}$, X — X , Y

الأبنـــاء :	XY	XX	$\underline{X}$ Y	$\underline{X}$ X
	ذكر عادي	أنثى عادية	ذكر مصاب	أنثى حاملة للمرض

الاحتمالات الممكنة في الأبناء :

١ ذكر عادي : ١ ذكر مصاب : ١ أنثى عادية : ١ أنثى حاملة للمرض

٣ ــ لون الأسنان البني :

سبب ظهور الأسنان باللون البني هو عدم وجود مادة الميناء التي تغطي الأسنان . وهي صفة سائدة . لذلك فإن الرجل المصاب يورث المرض لجميع بناته .

وتورث هذه الصفة كما في عمى الألوان ونزف الدم .

٤ ــ نقص أنزيم جلوكوز ــ ٦ ــ فوسفات ديهيدروجينيز :

(Glucose - 6 - phosphate dehydrogenase deficiency)

يتحكم في هذه الصفة عامل وراثي متنحي محمول على كروموسوم (×) ، وهي شائعة بين الزنوج وخاصة الزنوج الأمريكان ، وكذلك بين سكان منطقة البحر الأبيض المتوسط .

ونقص هذا الأنزيم يتسبب في تدمير كريات الدم الحمراء (Erythrocytes) وتكون نتيجته ظهور حالة أنيميا شديدة (Hemolytic) إذا تناول الفرد أيا من العقاقير التالية :

1 - Para - amino Salicylic acid .
2 - Sulfonamides .
3 - Napthalene .
4 - Phenacetin .
5 - Primaquine .

وتحدث نفس ظاهرة تدمير كريات الدم الحمراء كذلك إذا تناول الفرد حبوب الفول (Vicia faba) أو حتى إذا تنفس حبوب اللقاح الخاصة بهذا

النبات ، ولهذا تسمى الأنيميا الناتجة من وجود هذا الجين في التركيب الجيني باسم (Favism) .

وفي حالة غياب العوامل السابقة الذكر فإن كل الأفراد الحاملين لهذا الجين سواء كانت الصفة نقية أو هجينة ، تكون طبيعية تماماً ولا يظهر عليها أي أثر ضار .

وبجانب هذه الصفات المرتبطة بالجنس ، يوجد في الانسان عدد من الصفات الأخرى المرتبطة بالجنس ، ومن هذه الصفات على سبيل المثال :

١ ــ غياب الغدد العرقية والأسنان (Anhidrotic octodermal dysplasia)

٢ ــ العشى الليـــلي (Night blindness)

٣ ــ الخصلة البيضاء في مقدمة الرأس (White Fore Lock)

٤ ــ ضمور العضلات في الصغار (Juvenile muscular dystrophy)

٥ ــ بعض حالات الصمم (Deafness)

ثالثاً : وراثة الصفات المتأثرة بالجنس :
(Inheritance of Sex-influenced Characters)

بعض الصفات المتأثرة بالجنس :

١ ــ الصـــلع (Baldness)

يظهر الصلع في كل من الذكور والإناث ، ولكنه نادر الحدوث في الإناث ويتراوح الصلع مابين صلع ضعيف إلى صلع قد يشمل الرأس كله. ويتحكـــم في هذه الصفة زوج من الجينات محمولة على الكروموسومات الجسمية . وبالرغم أن الصلع وراثي ولكن التأثير المباشر يرجع إلى هرمـــون التستوستيرون (Testosterone) الذي تفرزه الخصية . ولهذا وجد أن إزالة الخصيتين يتسبب في عدم ظهور صفة الصلع .

ولو رمزنا لصفة الصلع بالرمز H

ورمزنا لصفة عـدم الصلع بالرمز h

والجين (H) يكون سائداً في الذكور ومتنحياً في الإناث ، وفي الحالة الهجينة فإن تأثيره يظهر في الذكور نتيجة وجود هرمون الجنس الذكرى .

والجدول التالي يوضح التراكيب الجينية والأشكال المظهرية الخاصة بها :

التركيب الجيني	الذكـــور	الإنـــاث
H H	أصـــلـع	صـــلعاء
H h	أصـــلـع	غـير صـلعاء
h h	غـير أصـلع	غـير صـلعاء

٢ ـ النقـرس (داء المفاصل) :

يظهر النقرس في الذكور أكثر منه في الإناث والسبب في ذلك هو : الهرمون المذكر .

فداء النقرس يندر حدوثه في الإناث قبل سن اليأس ويزيد حدوثة بعد ذلك . ولاحظ الفيلسوف سقراط أن الأغاوات لا يصابون بداء النقرس ، وذلك لأن الخصية تستأصل لديهم وهم في سن مبكرة الأمر الذي يمنع تكوين الهرمون المذكر ، وإمداد الجسم بالتركيزات اللازمة لظهور هذه الصفة .

رابعاً : الأمراض الوراثية (Genetic Diseases)

١ ـ مـرض السـكري (Diabetes)

هو مرض فسيولوجي متوارث سببه نقص هرمون الأنسولين **(Insulin)** الذي تفرزه غدة البنكرياس والمسؤول عن تنظيم نسبة السكر في الدم . وعند زيادة نسبة السكر في الدم يظهر السكر في بول المريض .

وهذا المرض متنحي ، ويعتقد بعض علماء الوراثة أنه يتحكم به زوج من الجينات ، بينما يعتقد البعض الآخر أنه يقع تحت تأثير عدد من الجينات

٢ ــ المقاومة والاستعداد للمرض :

إن المقاومة والاستعداد للمرض ينتجان عن زوج من الجينات . وجين المقاومة للمرض سائد على جين الاستعداد للمرض .

٣ ــ فينل كيتون يوريا (P K U) (Phenyl keton uria) :

يعتبر الحامض الأميني فينل ألانين (Phenyl alanine) حامضاً أمينياً ضرورياً لبناء جسم الانسان .

وعادة يتحول هذا الحامض الأميني إلى تيروسين (Tyrosin) وهذا بدوره يتأكسد وله تفاعلات فسيولوجية غاية في الأهمية .

وتحول الفينل ألانين إلى تيروسين هي عملية أكسدة تحتاج إلى مساعدة من أنزيم يفرزه الطحال وهو أنزيم هيدروكسيل الفينل الانين :
(Phenyl alanine hydroxylase)

ولكن قد تحدث طفرة في الجين المسؤول عن إنتاج الأنزيم المذكور اللازم لتحويل الفينل ألانين إلى تيروسين ، عندها فإن الفينل ألانين سيتراكم في الدم ، وتصبح نسبته حوالي ٥٠ إلى ١٠٠ مرة قدر المعدل العادي وهو حوالي ٤ ملغم / ١٠٠ مللتردم .

ونتيجة لذلك تظهر أعراض جانبية ، حيث يتحول جزء من الفينل ألانين المتراكم في الدم إلى حامض فينل بايروفيك (Phenyl pyruvic acid) الذي يتخلص الانسان من جزء منه عن طريق الكليتين ولهذا يظهر غالباً في البول وحامض هيدروكسي فينل أستك (D-hydroxy phenyl acetic acid) ومواد أخرى تعرف بمجملها باسم (P K U) . وبعض هذه المواد لها تأثير سام

على نمو الجهاز العصبي المركزي (C. N. S.) وتسبب تخلفاً عقلياً للمصاب .

ويمكن معرفة هذا المرض خلال الحمل أو بعد الولادة مباشرة ، حتى يعالج في مراحله الأولى .

ومن المعروف أن جسم الانسان لا يستطيع تصنيع الحامض الأميني فينل ألانين ولهذا يجب أن يتوفر في بعض الوجبات البروتينية .

وإذا أبعد هذا الحامض الأميني كلية من الطعام ، فإن الأطفال المصابين لا تظهر عليهم أعراض (P K U) ولكن الصعوبة هنا أن هذا الحامض الأميني مهم في بناء الجسم . ولذلك فإنه من الأفضل ضبط كميته في الطعام بحيث تكون الكمية كافية لحاجة الجسم ولا تزيد بحيث تتجمع في الدم .

٤ ـــ حالات عدم انفصال الكروموسومات الجنسية :

(Non - disjunction of the Sex - Chromosomes)

قد يحدث أثناء الانقسام الاختزالي لتكوين الخلايا التناسلية عدم انفصال الكروموسومات الجنسية (X Y) أو (X X) عن بعضها . وينتج عن ذلك زيادة أو نقصاناً في عدد الكروموسومات الأصلية للفرد ، فقد يصل عددها ٤٧ كروموسوماً أو ٤٥ كروموسوماً .

وهذا الاختلاف في عدد الكروموسومات يتسبب في أمراض وراثية ، نذكر منها ما يلي :

أ) ظاهرة تيرنر (Turner Syndrome) :

الشكل المظهري لهؤلاء الأفراد. يكون مؤنث ولكن الفحص الدقيق لهم يبين الصفات التالية :

١ ـــ المبايض (Overies) صغيرة وغير تامة التكوين .

٢ ـــ غالباً ما تكون الإناث عقيمة (Sterile) .

٣ ـــ الاثداء غير بارزة النمو .

٤ ـــ الأذن في موضع منخفض على الرأس .

٥ ـــ الصـــــدر عـريض .

٦ ـــ تتصف الأنثى بالقصر والتخلف العقلي .

٧ ـــ يعطى هؤلاء الأفراد نتيجة سالبة بالنسبة لكروماتين الجنس :
(Negative sex - chromatin)

فهؤلاء الأفراد يحملون كروموسوم جنسي (×) واحد . وعدد الكروموسومات في خلاياهم الجسمية هو (٤٥) كروموسوماً بدلًا من (٤٦) كروموسوماً ، والنقص في كروموسومات الجنس (×) . فتركيبهم الكروموسومي هو (AAXO) . وقد أوضحت الدراسات الوراثية أنه لا علاقة لسن الأم في هذه الظاهرة معنى ذلك أن عدم الانفصال الكروموسومي في الأب هو المسؤول .

ومعدل ظهور هذه الظاهرة منخفض وذلك بسبب ارتفاع معدل الوفيات في الأجنة ذات التركيب الكروموسومي (XO) .

ونلاحظ أن ظاهرة ترنر أوضحت أن غياب كروموسوم (Y) من الزيجوت أدت إلى ظهور صفات التأنيث .

ب) ظاهرة كلاينفلتر (Klinefelter Syndrome)

الشكل المظهري لهؤلاء الأفراد يكون مذكراً ، حيث أن الأعضاء التناسلية الخارجية (External genetal) تكون ذكرية طبيعية .

ولكن الفحص الدقيق خصوصاً عند تقدم هؤلاء الأفراد في السن يبين الصفات التالية :

١ ــ الخصي (Testis) صغيرة .

٢ ــ عدم إفراز الحيوانات المنوية لعدم وجود الخلايا الخاصة بإنتاجها.

٣ ــ غالباً ما يكون الفرد طويلًا .

٤ ــ بروز الأثداء مع قلة في نمو الشعر .

٥ ــ يعطى هؤلاء الأفراد نتيجة موجبة بالنسبة لكروماتين الجنس (Positive sex - chromatin)

أي أن التركيب الكروموسومي لهؤلاء الأفراد هو (XXY) وذلك نتيجة لخلل في عملية الانقسام الاختزالي مما يؤدي إلى عدم إنفصال كروموسومات الجنس (XX) أو (XY) . وقد دلت الدراسات الوراثية أن هذه الظاهرة تزيد بين مواليد الأمهات اللاتي يزيد سنهن عن ٣٢ سنة .

جـ) ظاهـرة داون أو البلاهـة المنغوليـة (Down's Syndrom (Mongolism))

تنتج هذه الظاهرة عن وجود كروموسوم زائـد في الخلايا الجسيمة وبذلك يصبح عددها (٤٧) بدلًا من (٤٦) كروموسوم ، والزيادة هذه ناتجة عن عدم انفصال زوج الكروموسومات الجسيمة رقم (٢١) انفصالًا طبيعياً أثناء الانقسام الاختزالي وبذلك يصبح ممثلًا بثلاث كروموسومات بدلًا من كروموسومين .

ويتصف الفرد المصاب بالصفات التالية :

١ ــ التخلف العقلي .

٢ ــ قصر القامة وسماكة وقصر اليد والقدم .

٣ ــ وجه متسع دائري وجبهته بارزة وأنفه مضغوط .

٤ ــ الفك نازل والفم مفتوح واللسان كبير الحجم .

٥ ــ شذوذ واضح في بصمات الأصابع .

٦ ــ شذوذ في تراكيب القلب .

٧ ــ ثنية الجفن تشبه تلك الثنية التي تميز عيون المنغوليين .

وقد دلت الدراسات الوراثية أن هذه الظاهرة تزيد بين مواليد لأمهات تزيد أعمارهن عن ٤٠ سنة .

فصـــائل الـدم : (Blood groups)

يتكون الدم في الانسان من سائل البلازما تسبح فيه الكريات الدموية الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية .

إلا أنه يوجد اختلاف في التركيب الكيميائي للدم من شخص لآخر ويعتبر هذا الاختلاف من الصفات الوراثية في الانسان .

إذا دخلت مادة بروتينية غريبة إلى دم الانسان فإن جهاز المناعة في الجسم يكوّن أجساماً مضادة (Antibodies) في بلازما الدم . والمادة البروتينية التي سببت تكوّن الأجسام المضادة تعرف بالأنتجينات (مولدات الإلصاق) . وتوجد في أغشية خلايا الدم الحمراء .

ويوجـد في دم الانسـان نوعـان رئيسيان من الأنتيجينات همـا (A) و (B) ، وقد يوجدان إما مجتمعين معاً أو منفردين أو لا يوجدان على الاطلاق وقد قسم العالم لاندستاينر (Landesteiner) مجاميع دم الانسان حسب نوع الأنتجين الموجود أو غيابه إلى أربعة فصائل رئيسية :

١ ــ فصيلة دم (A) تحتوي كريات الدم الحمراء فيه على الأنتيجين (A) فقط

٢ ــ فصيلة دم (B) تحتوي كريات الدم الحمراء فيه على الأنتيجين (B) فقط

٣ ــ فصيلة دم (AB) تحتوي كريات الدم الحمراء فيه على الأنتيجين (B , A)

٤ ــ فصيلة دم (O) لا تحتوي كريات الدم الحمراء على أي من الأنتيجينات .

ولا يمكن أن تحتوي بلازما دم شخص ما على أجسام مضادة للأنتيجينات التي تحويها كريات دمه الحمراء ، لأن ذلك يؤدي إلى تلاصق (Agglutination) كريات الدم الحمراء مما يسبب انسداد الأوعية الدموية ثم الموت .

ولذلك فإنه في كل فصيلة من فصائل الدم يتوقف نوع الجسم المضاد على نوع الأنتيجين الموجود في كريات الدم الحمراء بحيث لا يحدث بينها تفاعل يسبب تلاصق كريات الدم الحمراء وانسداد الأوعية الدموية ثم الموت وعليه نلاحظ ما يلي :

١ ــ الشخص ذو فصيلة دم (A) تحتوي بلازما دمه على أجسام مضادة للأنتيجين (B) .

٢ ــ الشخص ذو فصيلة دم (B) تحتوي بلازما دمه على أجسام مضادة للأنتيجين (A) .

٣ ــ الشخص ذو فصيلة دم (AB) لا تحتوي بلازما دمه على أجسام مضادة لأي من الأنتيجينات .

٤ ــ الشخص ذو فصيلة دم (O) تحتوي بلازما دمه على أجسام مضادة من الأنتيجينات (B , A) .

والشكل (٤ — ٤) يوضح فصائل الدم والأنتيجينات والأجسام المضادة الموجودة فيها .

فصيلة الدم	أنتجين كريات الدم الحمراء	الأجسام المضادة في بلازما الدم
A	A	Anti - B
B	B	Anti - A
AB	A,B	لا يوجـــــد
O	لا يوجـــــد	Anti - A , Anti - B

(شكل ٤ — ٤)

ومن الناحية الكيميائية فإن كلًا من الأنتجين (A) والأنتجين (B) يتكون من (Mucopoly Saccharides) ، والجزء البروتيني متماثل تماماً في كل من نوعي الأنتجين والاختلاف بينها يرجع إلى السكر الموجود في كل منهما ، وهذا السكر هو المختص بالتفاعل بين الأنتجين والجسم المضاد .

وإذا أخذنا في الحسبان أقسام الأنتجين (A) فإننا نجد أن الجين (I^{A}) له أربعة صور جينية مختلفة نرمز لها بالرموز I^{A1} , I^{A2} , I^{A3} , I^{A4} ، وكذلك لوحظ وجود ثلاثة أقسام مختلفة في مجموعة الدم (B) .

ويشترط في نقل الدم من شخص لآخر أن يحدث توافق تام بين دم الشخص العاطي والمعطى له ، وحتى يتم ذلك يجب أن لا تتفاعل كريات دم

العاطي مع بلازما المعطى إليه ، أي أن يكون هناك توافق بين أنتجين العاطي مع الأجسام المضادة لبلازما دم المعطى إليه ، أما بالنسبة للأجسام المضادة الموجودة في دم الشخص العاطي فليس لها تأثير على أنتجين الشخص المعطى إليه لأن هذه البلازما تخفف كثيراً في دم المعطى إليه . والشكل (٤ ــ ٥) يبين فصائل الدم المختلفة التي يمكن أو لا يمكن أن يحدث توافق بينهما أثناء عمليات نقل الدم .

فصيلة الدم	الأنتجين	الجسم المضاد	يمكن أن يعطي الدم إلى	يمكن أن يأخذ الدم من
A	A	anti - B	A , AB	A , O
B	B	anti - A	B , AB	B , O
AB	A , B	لا يوجد	AB	A,B,AB,O
O	لا يوجد	anti - A , anti - B	A,B,AB,O	O

(شكل ٤ ــ ٥)

ونلاحظ من الجدول السابق أن الشخص الذي فصيلة دمه (O) يمكنه أن يعطي دماً لأية فصيلة من فصائل الدم ولهذا يطلق عليه معطي عام (Universal Donor) . والشخص الذي فصيلة دمه (AB) يمكنه أن يأخذ دماً من جميع فصائل الدم ولهذا يطلق عليه مستقبل عام (Universal - Recepient) .

وراثة فصائل الدم (Inheritance of blood groups) :

نتيجة لدراسات عديدة اتضح وجود سلسلة من الجينات المتعددة (Alleles) تتحكم في فصائل الدم ، ويستعمل الرمز (I) لهذه الجينات وإذا تغاضينا عن التقسيمات الفرعية لفصائل الدم المختلفة نقول أنه يوجد ثلاثة جينات هي :

I^A ويتحكم في إنتاج الأنتجين A

I^B ويتحكم في إنتاج الأنتجين B

i وهو لا ينتج أي أنتجين على الاطلاق .

ودراسة السلوك الوراثي لهذه الجينات الثلاثة أوضحت أن السيادة بين الأليلين I^A , I^B هي من نوع السيادة المساعدة (Co - dominance) ، حيث أن الفرد الخليط(I^B , I^A) يحمل نوعي الأنتجنات على كريات دمه الحمراء ، في حين أن السيادة تامة بين كل من (I^A , I^B) من ناحية والجين (i) من ناحية أخرى .

والشكل (٤ ــ ٦) يوضح كيفية توارث مجاميع الدم في الانسان .

فصيلة الدم	مجموعة دم الأب وتركيبه الجيني O ii	A I^AI^A , I^Ai	B I^BI^B , I^Bi	AB I^AI^B
مجموعة دم الأم وتركيبها الجيني O — ii .	O	A , O	B , O	A , B
A — I^AI^A, I^Ai	A , O	A , O	AB , A , B , O	AB , A , B
B — I^BI^B, I^Bi	B , O	AB , A , B , O	B , O	AB , A , B
AB — I^AI^B	B , A	AB , A , B	AB , A , B	AB , A , B

(شكل ٤ ــ ٦)

استخدام فصائل الدم في الطب الشرعي :

يمكن الاسترشاد بفصائل الدم في نفي بنوة ابن لأبيه وليس في إثباتها، كما في حالات اختلاط الأطفال في مستشفى الولادة .

ولمعرفة ذلك لابد من تحليل ومعرفة فصائل الدم للأبوين والأطفال لتحديد فصيلة الدم المحتملة للأبناء .

والأمثلة التالية توضح حالة خلط الأطفال في مستشفيات الولادة :

أ ــ العــائلة	فصيلة دم الأبوين	فصيلة دم الطفل
١	A X AB	O
٢	O X O	B

يتضح من هذه البيانات أن الطفل رقم (١) لا يمكن أن يكون خاص بالعائلة رقم (١) وكذلك فإن الطفل رقم (٢) لا يمكن أن يكون خاص بالعائلة رقم (٢) ، وقد تم استبدال الطفلين ورضيت العائلتان بهذا القــرار .

ويمكن توضيح ذلك على أسس وراثية .

العائلة رقم ١ :

الشكل المظهري لفصائل دم الأبوين	A X AB
الحالة الأولى : التركيب الجيني للأبوين	$I^A I^A \times I^A I^B$
الجاميتــــات	I^A $\quad$ I^A, I^B
الأبنـــــاء	$I^A I^A, I^A I^B$
الحالة الثانية: التركيب الجيني للأبوين	$I^A i \times I^A I^B$
الجاميتــــات	I^A, i $\quad$ I^A, I^B
الأبنـــــاء	$I^A I^A, I^A I^B, I^A i, I^B i$

لا يمكن أن تنجب هذه العائلة طفلًا فصيلة دمـه O

العائلة رقم ٢ :

الشكل المظهري لفصائل دم الأبوين	O × O
التركيب الجيني للأبوين	ii × ii
الجاميتـــــات	i i
الأبنـــــاء	ii

لا يمكن أن تنجب هذه العائلة طفلًا فصيلة دمـه (B) .

ب ــ إذا كان الأب فصيلة دمه (O) ، والأم فصيلة دمها (B) وكانت فصيلة دم الطفل (AB) ، فلا يمكن أن ينسب الابن لهذا الأب (أي تنتفي بنوته) ونوضح ذلك على أسس وراثية :

الشكل المظهري لفصائل دم الأبوين	B × O
التركيب الجيني للأم	$I^B i$ أو $I^B I^B$
التركيب الجيني للأب	i i

الحـــالة الأولى : $i\,i \times I^B I^B$

الجاميتـات	i	I^B
الأبنـــاء		$I^B i$

جميع فصائل دم الأبنـــاء (B)

الحـــالة الثانيـــة : $i\,i \times I^B i$

الجاميتـات	i	I^B , i
الأبنـــاء		$I^B i$, ii

فصائل دم الأبنــاء (O) و (B)

إذا تزوج رجل فصيلة دمه (A) هجين من أنثى فصيلة دمها (B) هجين ، ماهي فصائل دم الأبناء ؟

وضح إجابتك على أسس وراثية .

ولماذا يصعب هنا إثبات البنوة ؟

الأنتجين (H) :

كما سبق القول فإن كلًا من الأنتجين (A) والأنتجين (B) يخلق (Synthesized) من مادة مبدئية (Precursor)* هي عبارة عن (Mucopolysaccharide) ، ويتم هذا التخليق في وجود الجين السائد (H) من زوج الجينات (H - h) .

بحيث أنه في حالة وجود التركيب الجيني (HH) أو (Hh) فإن هذه المادة المبدئية (Precursor) تحول إلى أنتجين معين هو الأنتجين (H) ، وهذا الأنتجين بدوره يتحول جزئياً في وجود الجين (I^A) إلى الأنتجين (A) وفي وجود الجين (I^B) يتحول إلى الأنتجين (B) .

ولا يتسبب الجين (h) في إنتاج أي نوع من الأنتجينات ولذلك يعزف بأنه (Amorph) .

والأفراد ذوي التركيب الجيني (HHI^AI^A) ينتجان نوعي الأنتجينات ، الأنتجين (A) والأنتجين (H) . وكذلك الأفراد ذوي التركيب الجيني (HHI^BI^B) ينتجان نوعي الأنتجينات ، الأنتجين (B) والأنتجين (H) .

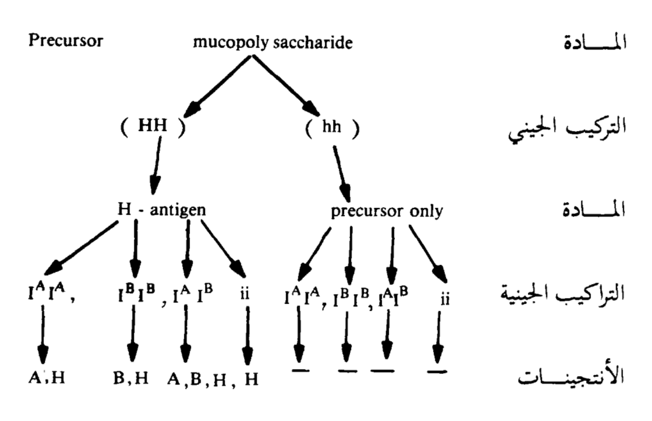
ولكن بالنسبة لمجموعة الدم (O) فإذا كان الفرد يحمل التركيب الجيني (HHii) فإنه ينتج فقط الأنتجين (H) ، أما إذا كان الفرد يحمل التركيب الجيني (hhii) فإنه لا يعطي أي تفاعل موجب مع الأجسام المضادة A (Anti : - A) ولا الأجسام المضادة B (Anti : - B) ولا الأجسام

---

* مادة تشكل منها مادة أخرى .

المضادة H (Anti : - H) حيث أنه لا ينتج أي نوع من أنواع الأنتجينات ، ويعرف هذا الشكل المظهري باسم (Bobay phenotype) . وسمي بهذا الاسم لأنه لوحظ لأول مرة في عائلة في هذه المدينة عام ١٩٦٢م ، وهذه الحالة لم توجد إلا في ثلاثين (٣٠) حالة في العالم كله .

والرسم التوضيحي التالي يوضح العلاقات بين الجينات الوراثية وكل هذه الأنتجينات .



(شكل ٤ ـــ ٧)

ولقد تم اكتشاف عدد من أنتجينات الدم والموجودة على سطح كرة الدم الحمراء ، وجرى العرف على أن يسمى كل واحد من هذه الأنتجينات باسم أول عائلة يكتشف فيها الأنتجين أو الجسم المضاد الخاص به ، ومن أمثلة هذه الأنتجينات ما يلي :

كيـد (Kidd) ، دفي (Duffy) ، كيـل (Kell) ، ليرفـــز (Lervis) ، لوثران (Lutheran) .

عامـــل ريزوس (Rhesus Factor) :

لاحظ لاندشتينر (Landsteiner) وفيـــنر (Wiener) عام ١٩٤٠م ، أنه عند نقل دم من قردة من فصيلة الريزوس إلى أرنب ، قد تكونت أجسام مضادة في دم الأرنب ، وأن هذه الأجسام المضادة قادرة على تجميع كريات الدم الحمراء لدم القرود من فصيلة ريزوس .

وهذا يعني أن كريات الدم الحمراء بفصيلة القرود ريزوس تحمل على أسطحها أنتجين معين سمي بالأنتجين الريزوسي نسبة إلى فصيلة القرود ، ومن ثم سمي العامل الوراثي المسؤول عن تكوين هذا الأنتجين بعامل ريزوس ويكتب اختصاراً (Rh) ، وعند فصل مصل الأرنب الذي تكونت في دمه الأجسام المضادة واستعمالها في اختبارات على الانسان ، وجد أن بعض الأشخاص ينتجون الأنتجين الريزوسي وسمي هؤلاء الأفراد بموجبي العامل الريزوسي (Rh^+) بينما باقي الأفراد لا ينتجون هذا الأنتجين ويطلق عليهم اسم سالبي العام الريزوسي (Rh^-) . ويتحكم بهذه الصفة زوج من الجينات ، فصفة إنتاج الأنتجين أي (Rh^+) هي الصفة السائدة ويرمز لها بالرمز (R) وصـفة عـدم إنتـاج الأنتجين أي (Rh^-) هي الصـفة المتنحيـة ويرمـز لهـا بالرمز (r) .

وبذلك فإن الأفراد موجبو عامل ريزوس يحملون واحداً من التركيبين الوراثيين (RR) أو (Rr) بينما الأفراد سالبو عامل ريزوس ، فإن تركيبهم الوراثي (rr) .

أهميـة عـامل ريزوس :

إن دم الانسان لا يحتوي على الأجسام المضادة الخاصة بأنتجين ريزوس ، ولكن الأفراد الذين هم (Rh^-) قادرون على إنتاج الأجسام المضادة لأنتجين (Rh^+) إذا دخل أجسامهم .

ولذلك فإن نقل الدم يتطلب معرفة نوع الدم من حيث كونه (Rh^+) أو (Rh^-) بالاضافة إلى معرفة فصيلة الدم . فقد وجد أنه عن نقل دم من شخص دمه (Rh^+) إلى شخص دمه (Rh^-) يؤدي إلى إنتاج الأجسام المضادة للأنتجين (Rh^+) مما يسبب أحياناً الوفاة برغم كون فصائل الدم متفقة . وأكثر الحالات أهمية في توارث فصائل الدم هي :

عند كون دم الأب (Rh^+) ودم الأم (Rh^-) .

فإذا كان دم الأب (Rh^+) خليط فإن تركيبه الجيني يكون (Rr) ، وعليه فإن بعض الأجنة يكون دمهم (Rh^+) وبعضهم (Rh^-) . (حسب قوانين منـدل) .

أما إذا كان دم الأب (Rh^+) نقي فإن جميع الأجنة يكون دمهم (Rh^+) (حسب قوانين منـدل) .

ومن المعروف أنه لا يوجد اختلاط مباشر بين خلايا دم الأم وخلايا دم الجنين ، ولكن يحدث ذلك خلال عملية الولادة ، فإذا كان المولود دمـه (Rh^+) والأم دمها (Rh^-) فإن دم الأم يكون أجساماً مضادة للأنتجين (Rh^+) .

وعند تكوين كمية من الأجسام المضادة في بلازما دم الأم ، فإن هذه الأجسام المضادة تتسرب إلى دم الجنين (Rh^+) عن طريق المشيمة وتسبب تجمع الكريات الحمراء لدم الجنين ثم تحللها ويصاب الجنين بحالة أنيميا شديدة تعرف بمرض انحلال كريات الدم الحمراء للجنين (Erythro blastosis fetalis) ويصاحبها :

أ) اصفرار الجلد (Jaundice) حيث أن الشعيرات الدموية في الكبد تزدحم ببقايا كريات الدم الحمراء المتكسرة وبالتالي فإن الدم يمتص عصارة الصفراء .

ب) تضخم في الطحال والكبد .

وقد يؤدي هذا إلى موت الطفل قبل الولادة أو بعدها مباشرة ، ولكن إذا قدرت له الحياة فيجب استبدال دمه (Rh^+) بدم آخر (Rh^-) . ولكن حالة الأنيميا هذه قليلة الانتشار للأسباب التالية :

١ ــ أن الطفل الأول غالباً لا يتأثر إلا إذا كانت الأم (Rh^-) قد نقل إليها في وقت ما قبل الحمل دم من النوع (Rh^+) أو كان قد حدث لها إجهاض لجنين (Rh^+) .

٢ ــ بعض النساء (Rh^-) غير قادرات على إنتاج الأجسام المضادة للأنتجين (Rh^+) حتى في حالة وجود هذا الأنتجين داخل أجسامهن .

ولقد اكتشف حديثاً علاج يمنع جسم المرأة من تكوين الأجسام المضادة للأنتجين (Rh^+) ، وذلك بإعطائها حقنة في العضل خلال ٧٢ ساعة بعد ولادتها لطفل دمه (Rh^+) . وتحتوي هذه الحقنة على أجسام مضادة تمنع كريات دم الطفل الحمراء والتي كانت قد مرت إلى الدورة الدموية للأم أثناء الولادة ، من جعل دم الأم يكون أجساماً مضادة للأنتجين (Rh^+) .

المصطلحـــــات

(Glossary)

(أ)

أحماض نووية (Nucleic acids) :

مركبات كيميائية حامضية موجودة في نواة الخلية ، وتتركب من وحدات تسمى كل منها نيوكليوتيد . والأحماض النووية نوعان ، حامض نووي رايبوزي ، وحامض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين .

أدنـــين (Adenine) :

قاعدة نيتروجينية (من البيورينات) وتدخل في تركيب نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) .

أدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine triphosphate) :

يرمز له اختصاراً بالرمز (ATP) ، وهو مركب عضوي يحتوي على ثلاثة ذرات فوسفات ويمد أجسام الكائنات الحية بالطاقة .

ارتبـــاط (Linkage) :

وجود جينات معينة على كروموسوم معين ، تكون دائماً متجمعة وتنتقل من جيل إلى آخر كوحدة واحدة في جاميت واحد .

آكل البكتيريا (Bacteriophage) :

فيروس يهاجم خلية بكتيريا ويهلكها .

أليـــــل (Allele) :

الشـكل البـديل لجـين مـا ويقـع عـلى نفـس الموقـع الكروموسومي لهـذا الجـين .

أنجســتروم (Angstrom) :

وحـدة لقياس الأطوال وتساوي $١٠^{-١٠}$ من المـتر .

أنــــزيم (Enzyme) :

بروتين نشط تنتجه أجسام الكائنات الحيـة ، ويعمل كعامل مساعد لحفز التفاعلات الخلوية .

انعـدام السيادة (Lack of dominance) :

حالة وراثية لا تسود فيها صـفة على صفة أخرى في زوج الصفات المتضادة ، بل تظهر نتيجة التزاوج صفة ثالثة تكون وسطا بين الصفتين المتضادتين .

انقسـام إخــتزالي (Meiosis) :

انقسام الخلية التناسلية إلى أربعة خلايا ، وتحتوي كل خلية على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية الجسدية لنفس النوع .

انقسام غـير مباشر (Mitosis) :

انقسام الخلية الجسدية إلى خليتين ، وتحتوي كل خلية على نفس عدد الكروموسومات الأصلية لنفس النوع .

الارتباط بالجنس (Sex-linkage) :

ارتباط صفة وراثية بالجنس ، والجين المسؤول عن هذه الصفة موجود على الكروموسوم الجنسي .

(ب)

ببتيـــــد (Peptide) :

مركب يحتوي على أحماض أمينية ، وهو وحدة أيض البروتين .

بروتـــين (Protein) :

مركب عضوي يتكون من أحماض أمينية .

بكتـــيريا (Bacteria) :

كائنات حيـة تحت مجهرية وحيدة الخلية وتتبع مملكة البدائيات .

بلازمـــــا (Plasma) :

المـــادة السائلة في الدم .

بنكـــرياس (Pancreas) :

إحدى الغـدد الملحقة بالجهاز الهضمي للفقاريات ، وتقوم بإفراز الأنزيمات الهاضمة والهرمونات .

بويضـــــــة (Ovum) :

خليـــة تناسـلية أنثـوية ناضجـــة .

بوليمريز (RNA) : (RNA Polymerase) :

أنزيم يساعد على تكوين الرسـول (RNA) كقالب لـ (DNA) أثناء عمليـة بنـاء البروتين .

بيريميدينات (Pyrimidines) :

قواعد نيتروجينية تتألف من حلقة واحدة ، ومنها السيتوسين الذي يدخل في تركيب نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) ، والثايمين الذي يدخل في تركيب (DNA) فقط ، واليوراسيل الذي يدخل في تركيب (DNA) فقط .

بيورينـــات (Purines) :

قاعدة نيتروجينية تتألف من حلقتين ومنها ، الأدنين والجوانين ، وتدخل في تركيب نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) .

بيولوجيـــا (Biology) :

هو العلم الذي يبحث في الكائنات الحيـة من جميع جوانبها .

(ت)

تراكيب أبوية (Parental Combinations) :

التراكيب الجينية للأفراد التي تشبه التراكيب الجينية للأبوين وتظهر نفس الصفات .

تراكيب جديدة (Recombinations) :

التراكيب الجينية الجديدة للأفراد مخالفة للتراكيب الجينية للأبوين وتظهر صفات جديدة تختلف عن صفات الأبوين .

ترجمـــــة (Translation) :

تكوين بروتين في الرايبوزوم بأمر من M — RNA معـين .

تركيب جيني (Genotype) :

نمط الجينات لصفة مـا من الكائن الحي .

تعـدد البدائـل (Multiple alleles) :

ثلاثة بدائل (جينات) أو أكثر يكون لها نفس الموقع الكروموسومي في زوج الكروموسومات المتشابه ، وتتحكم هذه البدائل في صفة واحدة .

تكاثر بكــــري (Parthenogenesis) :

نمـو فـرد جديد من بيضـة غـير مخصبة .

تكاثر جنسي (Sexual reproduction) :

نشـوء فرد جديد نتيجة اندماج جاميت ذكري مع جاميت أنثوي .

تكاثر لا جنسي (Asexual reproduction) :

تكاثر دون اتحـاد جاميتات أو أية مادة نووية .

تلقيــــح (Pollination) :

انتقال حبوب اللقاح الناضجـة من المتـك إلى الميسم .

تلقيـــح اختباري (Testcross) :

وهو التلقيح الذي يتم لتحديد التركيب الجيني لصفة سائدة لمعرفة فيما إذا كانت هذه الصفة نقية أو هجينة .

تلقيـــح خلطي (Cross Pollination) :

انتقال حبوب اللقاح الناضجة من متك زهرة إلى ميسم زهرة أخرى في نبات آخر .

تلقيح ذاتي (Self Pollination) :

انتقال حبوب اللقاح الناضجة من متك زهرة إلى ميسم نفس الزهرة أو إلى ميسم زهرة أخرى في نفس النبات .

تــــوأم (Twin) :

الفردان الناتجان من نمـو نصفي البويضة المخصبة أو من بويضتين مخصبتين كل واحدة مستقلة عن الأخرى .

(ث)

ثايمــين (Thymine) :

قاعدة نيتروجينية من البريميدينات وتدخل في تركيب (DNA) فقط

(ج)

جاميت (Gamete) :

خلية تناسلية تحتوي على نصف عدد الكروموسومات في الخلية الأصلية لنفس النوع ، وتشارك في عملية التكاثر الجنسي في الكائنات الحية

جســم بـــار (Barr body) :

جسم كروماتيني صغير موجود في خلايا الإناث الطبيعيات ، وعدد أجسام بار دائماً تساوي أقل بواحد من عدد كروموسومات (X) الموجودة في الخليـــة .

جسـم مضـاد (Antibody) :

بروتين تنتجه الفقاريات نتيجة دخول جسم غريب ، ويستطيع أن يتحد مع أنتجين معين .

جنس (Sex) :

أحد رتب التصنيف ويقع بين النوع والعائلة ويضم كل جنس عددا من الأنواع المتشابهة .

جـوانين (Guanine) :

قاعدة نيتروجينية من البيورينات .وتدخل في تركيب نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) .

جـين (Gene) :

يتكون من الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين ، وهو الذي يتحكم في الصفات الوراثية في الكائن الحي .

جينـات قاتلة (Lethal genes) :

الجينات التي تؤدي إلى موت الجنين وهو في أطواره الأولى .

جـين سـائد (Dominant gene) :

الجين الذي يظهر أثره واضحاً على الشكل المظهري للفرد في الحالة الهجينة (غير متماثلة الجينات) .

جين قاصر على الذكور (Holandric gene) :

جـين محمول على كروموسوم (Y) ، ولذلك فهو ينتقل من الأب إلى الابن .

جـين متنـحـ (Recessive gene) :

الجـين الذي لا يظهر له أثراً مرئياً على الشكل المظهري للفرد في الحالة الهجينـة .

(ح)

حامض أميني (Amino acid) :

الوحدة الأساسية التي تتركب منها المواد البروتينية .

حامض نووي رايبوزي (Ribonucleic acid) :

ويرمز له اختصارا بالرمز (RNA) . وهو مركب عضوي يتألف من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات ، ويوجد في النواة والسيتوبلازم ويعمل على صنع البروتينات .

وهو ثلاثة أنواع : RNA الرسول ، RNA الناقل ، RNA الرايبوزومي .

حامض نووي رايبوزي رايبوزومي (Ribosomal RNA) :

ويرمز له اختصاراً (R - RNA) . وهو الحامض النووي الرايبوزي (RNA) الذي يدخل في صنع الرايبوزوم .

حامض نووي رايبوزي رسول (Messenger RNA) :

يرمز له اختصاراً بالرمز (M - RNA) . وهو الحامض النووي الرايبوزي (RNA) الذي يحمل المعلومات الوراثية اللازمة من (DNA) إلى الرايبوزومات لصنع البروتين .

حامض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين (Deoxyribonucleic acid):

ويرمز له اختصاراً بالرمز (DNA) . مركب عضوي يتكون من مجموعة النيوكليوتيدات التي تترتب على شكل لولب مزدوج ، وهو يسيطر على جميع النشاطات الحيوية للخلية ، وهو مخزن المعلومات الوراثية في الخلية ، ويوجد بشكل رئيسي في النواة .

حامض نووي رايبوزي ناقل (Transfer RNA) :

ويرمز له اختصاراً (T - RNA) . الحامض النووي الرايبوزي (RNA) الذي ينقل الأحماض الأمينية إلى الرايبوزومات حيث يتم تحويلها إلى بروتينات.

حبـــوب لقــــاح (Pollen grains) :

خلايــا تناسلية (جاميتات) ذكرية لنباتات راقية .

حيـوان منـــوي : (Sperm) :

خلية تناسلية (جاميت) ذكرية ناضجة .

(خ)

خريطـة وراثيـــة (Genetic map) :

خريطة تحدد مواقع الجينات على الكروموسومات .

(ر)

رابطـة ببتيدية (Peptide bond) :

رابطة بين حامضين أمينيين تكونت نتيجة تفاعل بين مجموعة الأمين (NH_2) في أحد الحامضين الأمينين ومجموعة الكاربوكسيل (COOH) في الحامض الأميني الآخر .

رايبوزومات (Ribosomes) :

جسيمات صغيرة تتكون من بروتين والحامض النووي الرايبوزي . وتوجد حرة في السيتوبلازم أو مرتبطة مع الشبكة الأندوبلازمية ، ويتم فيها صنع البروتين .

(س)

سيتوبلازم (Cytoplasm) :

المادة الحية التي تشغل الحيز بين النواة والغشاء البلازمي في جميع خلايا الكائنات الحية .

سيتوسين (Cytosine) :

قاعدة نيتروجينية من البريميدينات وتدخل في تركيب نوعي الأحماض النووية (DNA) و (RNA) .

(ش)

شكل مظهري (Phenotype) :

الصفات التي تظهر في الكائن الحي بفعل تأثير التراكيب (الطرز) الجينية والبيئة أحيانا .

(ص)

صفة غير مندلية (Non - Mendelian Character) :

صفة تورث ولا تخضع لأي من قانوني مندل .

صـفة مندلية (Mendelian Character) :

صفة تورث تبعا لقانوني منـدل .

صـفة سـائدة (Dominant Character) :

الصفة التي تظهر على جميع أفراد الجيل الأول عند حدوث تلقيح بين فردين يحملان صفة ما ، بصورة متضادة ونقية ، وتظهر على ثلاثة أرباع أفراد الجيل الثاني عند حدوث تلقيح ذاتي بين أفراد الجيل الأول .

صفة متنحية (Recessive Character) :

الصفة التي تختفي في الجيل الأول عند حدوث تلقيح بين فردين يحملان صفة ما بصورة متضادة ونقية ، وتظهر على ربع أفراد الجيل الثاني عند حدوث تلقيح ذاتي بين أفراد الجيل الأول .

صـفة نقيـة (Pure Character) :

إذا كان جينا الفـرد لصـفة ما متشابهين ، فإن هـذه الصفة تكون نقيـة .

صـفة هجينـة (Mixed Character) :

إذا كان جينا الفرد لصـفة ما مختلفين ، فإن هـذه الصـفة تكـون هجينـة (مختلفـة) .

صـفة وراثيـة (Heritable - Character) :

تعليمات كيميائية تنتقل من الآباء عن طريق الخلايا التناسلية إلى الأبناء في جزيئات (DNA) .

(ط)

طفـــــرة (Mutation) :

تغير ثابت في جين ينتقل بالوراثة إلى الأجيال التالية ويؤدي إلى تغير في الصفة التي يسيطر عليها ذلك الجيل ، وتعتبر الطفرة أساس التطور العضـــــوي .

(ع)

عامـــل ريزوس (Rhesus Factor) :

أنتيجينات موجودة في كريات الدم الحمراء لبعض الناس .

عبـــــور (Crossing over) :

تبادل المادة الكروماتينية بين جزئي الكروماتيدان غير الشقيقين في زوج الكروموسومات المتشابه ، في الدور التمهيدي الأول للانقسام الاختزالي .

عـــلم الوراثة (Genetics) :

العلم الذي يبحث في انتقال الصفات من جيل إلى آخر ، وفي تفسير الظواهر المتعلقة بطريقة هذا الانتقال .

(ف)

فائقـة الأنوثة (Metafemale) :

نوع غير طبيعي من إناث حشرة الدروسوفيلا ، وعـادة ما تكون عقيمة ، وتكون كروموسوماتها الجنسية راجحة على كروموسوماتها الجسمية .

فــرد بين جنسي (Intersex) :

كائن حي يظهر بعض الصفات الثانوية الجنسية بين التذكير والتأنيث أي الكائن الحي الذي يظهر بعض الصفات المظهرية لكل من الذكور والاناث .

فيتـــامين (Vitamin) :

مركب عضوي يحتاجه الكائن الحي بكميات قليلة في عملية الأيض، ولا يمكن صنعه من الكربوهيدرات ولا الدهون ولا البروتينات في الغذاء .

فـــيروس (Virus) :

جسم تحت مجهري ، وهو متطفل إجباري ، حيث لا يبدي أي مظهر من مظاهر الحياة خارج جسم العائل . يحتوي جسم الفيروس على جزء مركزي من (DNA) أو (RNA) ، مغلف بمركب بروتيني معقد نسبياً.

فينـل كيتـون يوريـا (Phenyl Keton uria (PKU)) :

اضطراب في عملية الأيض ، وينتج عنه تخلفا عقليا ، ويورث حسب قانوني منـدل ، والجين المسؤول عنه متنح ، ويمكن علاجه في الأطفال بغذاء خصـــوصي .

(ق)

قاعدة نيتروجينيـة (Nitrogen base) :

مركب حلقي يحتوي على النيتروجين والكربون والهيدروجين . والقواعد النيتروجينية نوعان : البيورينات ، والبيريميدينات .

قانون منـدل الأول (قانون انعزال الصفات)

(Mendelian Principle I) (Law of segregation of Characters) :

إن كل صفة وراثية تمثل بعاملين وراثيين (جينين) ينعزلان عن بعضهما عند تكوين الجاميتات ، ويحتوي كل جاميت على عامل وراثي واحـــــد .

قانون منـدل الثاني (قانون التوزيع الحـــــر)

(Mendelian Principle II) (Law of irdependant assortment) :

إن مكونات الأزواج المختلفة من العوامل الوراثية (الجينات) تتوزع توزيعا مستقلاً عند تكوين الجاميتات .

قزحيـــــة (Iris) :

الجزء الأمامي من المشيمية في العين ، وهي عبارة عن دائرة عضلية مصبوغة قطرها ١ سم تقريبا ، وتلون العين .

(**ك**)

كروماتيـــد (Chromatid) :

يتكون كل كروموسوم من قسمين متشابهين تمام التشابه ، ويسمى كل قسم بالكروماتيد .

كروماتين (Chromatin) :

مادة توجد في الكروموسومات وتصطبغ بصبغات قاعدية معينة لاحتوائها على أحماض نووية .

كروموسوم (X) (X - Chromosome) :

الكروموسوم الجنسي الأنثـــــوي .

كروموسوم (Y) (Y - Chromosome) :

الكروموسوم الجنسي الذكري .

كروموسوم جسمي (Autosome) :

أي كروموسوم ليس كروموسوما جنسيا .

كروموسوم جنسي (Sex Chromosome) :

الكروموسوم المرتبط بتحديد الجنس .

كروموسومات (Chromosomes) :

أجسام خيطية الشكل ترى بوضوح داخل نواة الخلية أثناء انقسام النواة ، وتحمل الكروموسومات كروموميرات ، وكل كرومومير يحمـل جـــين لصـــفة مـــا .

وعدد الكروموسومات ثابت في خلايا جسم الكائن الحي للنوع الواحد . أما نواة الخلية التناسلية فتحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية العادية لنفس النوع .

كروموسومان متماثلان (Homologous chromosomes) :

الكروموسومان المتشابهان في الشكل والحجم ، إحداهما يأتي من الأم والآخر يأتي من الأب .

كروموميرات (Chromomeres) :

حبيبات صغيرة جدا مختلفة الأحجام محمولة على الكروموسومات ، ويحمل كل كروموميرِ جينا لصفة معينة .

كرية دم حمراء (Erythrocyte) :

كرية الدم التي تحتوي على هيموجلوبين .

كـــودون (Codon) :

وحدة الشيفرة الوراثية وتتكون من ثلاث نيوكليوتيدات .

كيـــازما (Chiasma) :

نقطة اتصال الكروماتيدان غير الشقيقان (nonsister chromatids) في الكروموسومين المتشابهين أثناء عملية العبور .

(م)

متماثل الجينـــات (Homozygous) :

وجود جينان متماثلان مسؤولان عن صفة معينة على موقع معين في زوج الكروموسومات المتشابه ، وبذلك تكون هذه الصفة نقية والفرد متماثل الجينات لهذه الصفة .

مختلف الجينات (Heterozygous) :

وجود جينان مختلفان مسؤولان عن صفة معينة على موقع معين في زوج الكروموسومات المتشابه ، وتكون هذه الصفة هجينة والفرد مختلف الجينات لهذه الصفة .

مربــع بنيت (Punnet Square) :

سمي هذا المربع باسم العالم البيولوجي روبرت بنيت . ويبين هذا المربع التكوينات الممكنة للجينين المتحكمين بصفة معينة والناتجين عن مشاركة كل من الأبوين ، وكل مربع فيه يبين الزيجوت الناتج من اتحاد الجاميتين .

مسالك التفاعل الحيوي (Metabolic pathways) :

تعمل الأنزيمات مترابطة بعضها مع بعض ، وتترتب مجموعة الأنزيمات في متواليات حسب وظائفها ، وهذه المتواليات تشكل ما يسمى بمسالك التفاعل الحيوي ، بحيث تكون المادة الناتجة من تفاعل أنزيم معين هي المادة التي يعمل عليها الأنزيم التالي .

مستقبل عــــام (universal recepient) :

الفرد الذي فصيلة دمــه (AB) يطلق عليه مستقبل عام وذلك لأنه يمكن أن يأخذ دما من جميع فصائل الدم .

مصـــــــل (Serum) :

بلازما الدم بعد إزالة الفيبرينوجين وعوامل تجلط الدم الأخرى .

معطي عــــام (Universal donor) :

الفرد الذي فصيلة دمــه (O) يطلق عليه معطي عام وذلك لأنه يمكن أن يعطي دما لأية فصيلة من فصائل الدم .

منــــدل (Mendel) :

عالم نباتي نمساوي (١٨٢٤ ــ ١٨٨٤م) قام بتجارب عديدة في الوراثة ، ويرجع إليه الفضل في إرساء قوانين الوراثة .

مولدات الالصـــاق (Antigen) :

جزيئات كبيرة وتتكون من البروتين والسكريات عديدة التسكر ، وهي إذا ما دخلت جسم حيوان حفزته على إنتاج أجسام مضادة خاصة تعمل على مقاومة ذلك الأنتجين .

(ن)

نزف الدم (Hemophelia) :

القابلية للنزف حتى من مجرد جرح بسيط ، والحالة الوراثية تعتمد على جين متنح مرتبط بالجنس .

نســـــــخ (Transcription) :

صنع (M - RNA) على طول DNA القالب ، وهـذا يحتـاج إلى طاقـة يستمدها من (ATP) بمساعدة أنزيم (RNA Polymerase) .

نظـــــير (Isomer) :

ذرة عنصر مـا لها نفس العـدد الذري لذلك العنصر ، وتختلف عنـه في الوزن الذري .

نيوكليوتيد (Nucleotide) :

مركب عضوي يتكون من قاعدة نيتروجينية وسكر خماسي ومجموعة فوسفات ، وهو يشكل اللبنة الأساسية في بناء الأحماض النووية .

نيوكليوسيد (Nucleoside) :

جزيء يتكون من قاعدة نيتروجينية وسكر خماسي .

(هـ)

هرمـــــون (Hormone) :

مادة كيميائية تفرزها الغدد الصماء مباشرة إلى الدم وبكميات قليلة لتؤثر في مختلف النشاطات الحيوية التي يقوم بها الجسم .

هرمون الأنسولين (Insulin hormone) :

هرمون تفرزه جزر لانجرهانز الموجودة في البنكرياس ، ويساعد هذا الهرمون في تنظيم أيض الكربوهيدرات خاصة تحول الجلوكوز إلى جلايكوجين

هيموجلوبين (Haemoglobin) :

بروتين يحتوي على الحديد ، ويؤدي وظيفة نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في دم الحيوانات الفقارية وبعض الحيوانات اللافقارية .

(و)

وحـــدة عبـــورية :

هي الوحدة الطولية المستعملة لتقدير المسافة الكروموسومية بين موقعين جينيين ، وهي المسافة التي تسمح بحدوث نسبة عبور مقدارها ٠٫٠١

وراثـــــــة (Heredity) :

انتقال الصفات المتميزة للفرد من جيل إلى آخر .

وراثة تصاليــــة (Reciprocal crosses) :

التزاوج الثاني الذي ينتج نفس السلالات ولكنها بالنسبة للأجناس تحمل صفات مضادة للسلالة الأولى .

مثلًا : أنثى من السلالة الثانية لها صفات الذكر من السلالة الأولى ، والذكر من السلالة الثانية له صفات الأنثى من السلالة الأولى .

وسـط بسيط :

الوسط الغذائي اللازم لنمو كائن حي وحيد الخلية (كالفطر مثلًا) ويحتوي على الحـد الأدنى من الغذاء اللازم لنمو هذا الكائن الحي .

وسـط كامــل :

الوسط الغذائي اللازم لنمو كائن حي وحيد الخلية (كالفطر مثلًا) ويحتوي على جميع المواد الغذائية اللازمة لنمو هذا الكائن الحي .

(ي)

يوراســـــيل (Uracil) :

قاعدة نيتروجينية من البريميدينات ، وتدخل في تركيب (RNA) فقـــط .

المراجـــع

1. Monroe W. Strickberger. Genetics. 2nd ed., Macmillan Publishing Co., Inc. New York. Collier Macmillan Publishers, London. 1976.

2. John W. Kimball. Biology. 4th ed., Addison. Wesley Publishing Co., september, 1977.

3. William T. Keeton. Biological Science. 2nd ed., Published simultaneously in CANADA by George J. Mcleod Limited, Toronto 1972.

4. Eldon J. Gardner, and D. Peter Snustad. Principles of Genetics. 6th ed., copyright 1981, by John wiley and Sonr, Inc. Published simultaneously in Canada.

٥ ــ د. عايش محمود زيتون . مدخل إلى بيولوجيا الانسان .
الطبعة الأولى ، عمان ــ الأردن ١٩٨٣م.
نشر وتوزيع دار مجدلاوي .

٦ ــ الأستاذ الدكتور عبد الخالق مراد .الوراثة أساسيات ومبادئ ١٩٧٩م .
زغلول حماده خلفاء دار المطبوعات الجديدة .

٧ ــ ريتشارد أ . جولدزبي . البيولوجيا ، الجزء الأول .
ترجمة د. عدنان علاوي وآخرون . منشورات مجمع اللغة العربية الأردني ١٩٨٠م .

٨ ــ د. عدنان بدران وآخرون ، علم الأحياء « البيولوجيا » للمرحلة الثانوية كتاب الطالب الصف الثالث (الثاني عشر) استمرارية الحياة ، جامعة الدول العربية ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم الطبعة الأولى ١٩٧٧م .

٩ ــ تأليف جولد شمدث ، ترجمة د. مصطفى طلبه .
ماهي الوراثة ــ ١٩٦٣م ــ الناشر دار النهضة العربية .

١٠ــ المعجم الموحد للمصطلحات العلمية في مراحل التعليم العام معجم مصطلحات علم الحيوان ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ، جامعة الدول العربية .

« تم بحمــد الله »

سجل تحت رقم ايداع ٨٥/١٠٥
بوزارة الاعلام
سلطنة عمان